SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

TRABAJO PROFESIONAL

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

QUE PRESENTA:

JORGE DAVID GONZÁLEZ LÓPEZ

CON EL TEMA:

"VALORACION QUIMICA DE SUELOS FERTILES EN AGRICULTURA DE CONSERVACION Y CONVENCIONAL EN DIFERENTES PARCELAS DEMOSTRATIVAS DEL ESTADO DE CHIAPAS".

MEDIANTE:

OPCION I

(TESIS PROFESIONAL)

TUXTLA GUTIERREZ, CHIAPAS **ABRIL 2016**

AGRADECIMIENTOS

Con todo mi amor y cariño para las personas que me enseñaron todo en esta vida, que con esfuerzo no se consiguen los éxitos. Por su infinito apoyo que me han brindado y que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, para motivarme a seguir adelante y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes les agradezco infinitamente y este éxito en la vida es para ustedes los amo.

Papá y mamá

A tu apoyo y comprensión, en encaminarme al éxito con tu amor y tus conocimientos, a cumplir un sueño más en mi vida. Gracias a ti amor he concluido una etapa más, por motivarme a seguir adelante y a empezar a cosechar más éxitos a tu lado.

A Mi Amor Lic. Alejandra Blanco Trinidad

A mí cuñada a ti te agradezco infinitamente todo tu apoyo, por compartir desinteresadamente tus conocimientos, consejos y por tu amistad sincera más que una amiga una hermana. Gracias por todo, por tu paciencia y haberme enseñado tanto. Y por darnos el regalo más grande de la vida a valentina. gonzález sumuano

IBQ. Sulma Sumuano torres

A mis hermanos que con su apoyo me han enseñado a salir adelante. Gracias por compartir sus vidas, pero sobre todo, gracias por estar en otro momento tan importante en mi vida les agradezco su amor de hermanos a ustedes les dedico este sueño y éxito en mi vida.

Mtro. Jerzy, Ing. Iván, Brenda.

A mi asesor, por darme la oportunidad en la participación y realización de este proyecto, eso contribuyó a fortalecer las bases importantes de mi desarrollo académico.

Dr. Joaquín Adolfo Montes Molina

A mis asesores por su contribución, no solo en este trabajo, sino en mi formación en las aulas, gracias por su apoyo.

Ing. Humberto Torres Jiménez, Ing. Ricardo Suarez Castillejos y Mia. Roció Farrera Alcázar

A mi asesor externo por su apoyo, tiempo y comprensión en las enseñanzas en campo gracias.

Ing. agrónomo. Juan Diego Lopez Durante

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, por permitir el desarrollo de este proyecto tan importante para mí.

CIMMYT

A la Institución en donde hoy concluyo una etapa importante en mi vida, gracias por todo el apoyo brindado a lo largo de mis años como estudiante.

ITTG

RESUMEN

El Maíz (*Zea mays*. L.) es el uno de los cultivos más importantes de los mexicanos, ya que presenta la principal fuente de trabajo de muchos productores en nuestro estado, este cultivo presenta vulnerabilidad debido a la presencia de plagas, malos desarrollos de crecimiento, debido al mal uso del suelo ocasionando erosiones que pueden dañar a los cultivos, para ello es necesario la implementación de nuevas técnicas de cultivos, como el rotacultivo, otro derivado que funcione como nutriente del suelo para proporcionar al cultivo estelar las mejoras necesarias para su desarrollo, y por lo tanto una cosecha satisfactoria.

En el presente trabajo se evaluó las diferencias entre los tratamientos de los cultivos como: la agricultura convencional y de conservación, y la tecnología de aplicación de rastrojo y sin la presencia del mismo, para poder valorar el efecto de esto sobre las variables de fertilidad de suelos, y obtener el mejor tratamiento para los cultivos de maíz.

Los datos recabados fueron analizados por Statgraphics Centurion XV. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: agricultura de conservación con rastrojo en cultivos de maíz-maíz (cs-c-mm), agricultura de conservación sin rastrojo en cultivos de maíz-maíz (cs-s-mm), respectivamente. En las plataformas de investigación del rancho “San Clemente”, cuyas coordenadas se encuentran; 16°41´02.1´´N, 92° 57´ 06.5´´W. Ubicado en el ejido Nucatilí, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Rancho “Guanacastal” cuyas coordenadas se encuentran; 16° 30´ 13.25''N, 92° 58´ 11.92''W. Ubicado en el ejido Julián Grajales, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Rancho “El Nochí” cuyas coordenadas se encuentran; 16° 25' 45.4''N, 92° 41´ 56.6´´W. Ubicado en el ejido Vicente Guerrero, municipio de Venustiano Carranza, Chiapas. Rancho “El Tanque” cuyas coordenadas se encuentran; 16° 18´ 21.3''N, 92° 57´ 09.1´´W. Ubicado en el ejido Jericó, municipio de El Parral, Chiapas. Rancho, “El Llano”, cuyas coordenadas se encuentran; 16°19’11.0”N, 92° 57´ 27.7''W. Ubicado en el ejido Jericó, municipio de El Parral, Chiapas. Rancho “El Pochote”, cuyas coordenadas se encuentran; 16° 30´ 11.42'' N, 92° 59´ 55.71''W. Ubicado en el ejido Ignacio Allende, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Rancho “El Pozo”, cuyas coordenadas se encuentran; 16° 32´ 4.5'' N, 92° 59´ 53.5''W. Ubicado en el ejido Ignacio Allende, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas. Rancho “El Aguacate”, cuyas coordenadas se encuentran; 16° 29´ 37.95''N, 92° 59´ 57.46''W. Ubicado en el ejido Ignacio Allende, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

Los resultados mostraron las comparaciones entre los diferentes tratamientos, en el periodo de temporal de los años consecutivos del 2012 y 2014.

Se evaluaron las variables de pH, propiedades fisicoquímicas del suelo y fertilidad del suelo Los resultados indicaron si hubo una diferencia significativa entre los tratamientos empleados.

Se comparó el uso de rastrojo como una alternativa para la fijación de nutrientes en el suelo de los cultivos de la plataforma del diseño experimental. Tomando en cuenta que estas tecnologías llevan todavía dos años, sin embargo es una buena tecnología para los productores y regeneración de suelos y fertilización de estos.

INDICE

Cap	Contenido	Pág.
I.-	Índice general	6
II.-	Índice de figuras	7
III.-	Índice de cuadros	13
IV.-	Resumen	4
1.-	Introducción	14
2.-	Objetivo	16
	2.1 Objetivo general	16
	2. 2 Objetivos especifico	16
3.-	Marco teórico	17
	3.1 Elementos básicos del suelo	17
	3.1.1 Generalidades de los suelos	19
	3.1.2 1Nutrientes esenciales	21
	3.1.3 identificación de deficiencias nutrimentales	23
	3.2 Efectos de la Agricultura de Conservación sobre las propiedades del suelo	30
	3.2.1 Manejo de la fertilidad del suelo	34
	3.2.2 Morfología	17
	3.3 La agricultura tradicional en México	37
	3.3.1 Daños de la agricultura convencional en el suelo	38
	3.4 Agricultura de conservación y su importancia	39
	3.4 Agricultura de conservación en cultivos de maíz	41
	3.5 La importancia del rastrojo	42
	3.6 Beneficios del uso de rastrojo	43
4.-	METODOLOGIA	45
	4.1 Diseño experimental	47
	4.1.1 Trabajo de campo	47
	4.1.2 Toma de muestras de suelo	48
5.-	Resultados y discusiones	51
7.-	Discusión de resultados	92
8.-	Conclusiones	95
9.-	Referencias	96

II. INDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Pág.
1	Un suelo limoso rojo con una fina estructura granular.	17
2	Fases que componen los suelos.	18
3	Proporción óptima entre suelos.	19
4	Concentraciones de co_2 en el suelo.	20
5	Nutrientes esenciales para las plantas.	20
6	Identificación de deficiencias nutrimentales.	23
7	Simetría de síntomas en hojas de maíz.	23
8	Síntomas de deficiencia de potasio en hojas basales (A) y deficiencia de azufre en hojas nuevas (B) de maíz.	24
9	Deficiencia de nitrógeno en maíz.	25
10	Deficiencia de fósforo en maíz.	25
11	Deficiencia de potasio en maíz.	26
12	Deficiencia de calcio en maíz.	26
13	Deficiencia de magnesio en maíz.	27
14	Deficiencia de azufre en maíz.	27
15	Deficiencia de hierro en maíz.	28
16	Deficiencia de cobre en maíz.	29
17	Deficiencia de zinc en maíz.	29
18	Las hifas de las micorrizas y las raíces transforman las partículas del suelo en agregados.	32
19	Proceso de nitrificación y formación de acido en la parte superior del suelo.	37
20	Rastrojo en cultivos.	42
21	parcelas de demostración experimental	

22	muestreo de suelo	47
23	Ubicación de los sitios de muestreo	48
24	Establecimiento de la profundidad del muestreo	49
25	Generación de la muestra compuesta	49
26	Variable de materia orgánica de suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05)	50
27	Variable de materia orgánica de suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).	51
28	Variable de nitrógeno de suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).	53
29	Variable de nitrógeno de suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).	53
30	Variable de fosforo en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).	55
31	Variable de fosforo en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).	55
32	Variable de potasio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).	56
33	Variable de potasio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).	57
34	Variable de calcio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).	58
35	Variable de calcio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).	58
	Variable de magnesio en los suelos fértiles del año 2012. Los	59

36 valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 60

37 Variable de magnesio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).

38 Variable de sodio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 61

39 Variable de sodio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 61

40 Variable de hierro en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 63

41 Variable de hierro en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 63

42 Variable de zinc en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 64

43 Variable de zinc en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 65

44 Variable de manganeso en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 66

45 Variable de manganeso en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 66

46 Variable de cobre en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 67

47 Variable de cobre en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 68

Variable de Boro en los suelos fértiles del año 2012. Los 69

48 valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05).

49 Variable de Boro en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 69

50 Variable de Azufre en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 70

51 Variable de Azufre en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 71

52 Variable de Ca/K en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 72

53 Variable de Ca/K en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 73

54 Variable de Mg/K en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05). 74

55 Variable de Mg/K en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 74

56 Variable de Ca+Mg/K en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 75

57 Variable de Ca+Mg/K en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 76

58 Variable de Ca/Mg en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 77

59 Variable de Ca/Mg en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 77

Variable de Ca en los suelos fértiles del año 2012. Los valores 78

60 con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.)

61 Variable de Ca en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 79

62 Variable de Magnesio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 80

63 Variable de Magnesio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 80

64 Variable de Potasio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 81

65 Variable de Potasio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 81

66 Variable de Sodio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 82

67 Variable de Sodio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 82

68 Variable de Calcio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 83

69 Variable de Calcio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 84

70 Variable de Magnesio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 85

71 Variable de magnesio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 85

Variable de Potasio en los suelos fértiles del año 2012. Los 86

72 valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.)

73 Variable de Potasio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 86

74 Variable de Sodio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 87

75 Variable de Sodio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 88

76 Variable de Capacidad de intercambio Catiónico del año 2012 en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 89

77 Variable de Capacidad de intercambio Catiónico del año 2014 en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 89

78 Variable de pH del año 2012 en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 90

79 Variable de pH en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % (p < 0.05.) 91

III.- INDICE DE CUADROS

Cuadro	CONTENIDO	PAG.
1.	Composición química de la parte mineral del suelo.	19
2.	Funciones de los nutrientes	22

1.- INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cuatro principales cultivos en el mundo con 695 millones de toneladas producidas en 2007. El mayor productor es Estados Unidos, con 282 millones de toneladas anuales. Este país oferta en su mayor parte maíz amarillo (692.3 millones de toneladas), y produce solamente 2.7 millones de toneladas de maíz blanco. A nivel de producción lo siguen China, Brasil, México y Argentina. Estados Unidos también es el principal productor de elote mientras que México en este rubro pasó a ser el segundo productor en el sexenio de 2000-2006 (FAOSTAT, 2007).

En cuanto a las importaciones mundiales de maíz es Argentina el principal importador, en tanto que China ocupa ese lugar en elote pero recientemente se ha convertido en el segundo exportador mundial de maíz situación que se ve favorecida por la depresión de Estados Unidos y su política de comercio exterior que permite vender el grano a bajos precios. A la luz de estas estadísticas mundiales México no figura dentro de los cinco principales países importadores del grano a pesar de ser un importador neto de maíz amarillo, que provienen principalmente de Estados Unidos. En 2007, estas importaciones fueron de 7 millones de toneladas en 2007.

En el mercado internacional no existe una diferenciación de las razas que se comercializan de maíz, ni tampoco se paga un sobre precio por variedad. Recientemente con la aparición de los mercados orgánicos el maíz producido bajo ciertas normas ambientales (por ejemplo, el no uso de agroquímicos y las buenas técnicas de labranza) puede llegar a obtener un sobreprecio que varía entre 60 y 80% respecto al convencional (FAOSTAT, 2007).

El maíz tiene una gran variabilidad en el color del grano, la textura, la composición y la apariencia. Puede ser clasificado en distintos tipos según: a) la constitución del endosperma y del grano; b) el color del grano; c) el ambiente en que es cultivado; d) la madurez, y e) su uso (FAO, 2001).

México es un país orientado a la producción de maíz blanco para el consumo humano e importador neto de maíz amarillo para el abastecimiento de la industria de procesamiento de alimentos balanceados y humano. En el país el cultivo de maíz ocupa 8.07 millones de hectáreas equivalentes al 50.3 % de la superficie agrícola sembrada. Del total de los productores de maíz, aproximadamente 90 % tienen parcelas menores de cinco hectáreas y más de 80 % utilizan semilla propia, adaptada a una enorme diversidad de situaciones geoclimaticas

La importancia de manejo de rastrojo en el suelo es, cuando llegue el momento de la cosecha, es primordial dejar la mayor cantidad posible de residuos sobre la superficie del suelo. Será suficiente con un 30 % pero, siempre será mejor conservar un poco más de rastrojo; sin duda, la tierra lo agradecerá. Si bien el

rastrojo ofrece muchos beneficios, también es cierto que es un reto que hay que manejar adecuadamente para establecer los cultivos (CIMMYT, 2008).

El objetivo de la siguiente investigación fue; Evaluar el efecto del rastrojo en el desarrollo y productividad de maíz (*Zea mays*). en parcelas con agricultura convencional y de conservación labranza cero en dos años consecutivos

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Comparación química del efecto del rastrojo sobre suelos de agricultura de conservación y agricultura convencional.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1.- evaluar el cambio de los parámetros químicos del suelo por efecto del rastrojo del año cero a tres años en agricultura de conservación y convencional.

2.- valoración del porcentaje de la materia orgánica en suelo durante el año cero y a los tres años por efecto del rastrojo entre la agricultura de conservación y convencional.

3.- evaluar el cambio de concentración de cationes intercambiables durante el año cero y a los tres años por efecto del rastrojo entre la agricultura de conservación y convencional.

2.3 HIPOTESIS ALTERNATIVA:

La adición de rastrojo de maíz en diferentes sistemas de cultivo bajo condiciones de cultivo de agricultura de labranza cero, incrementa la fertilidad del suelo.

3.1 Elementos básicos del suelo

El suelo consiste de cuatro componentes:
Materia orgánica (5 %)
Agua (25 %)
Aire (25 %)
Partículas de suelo o material mineral (45 %); estas son de tres tipos: limo, arena, y arcilla.

La proporción en que se encuentran estos tres tipos de partículas determina la textura del suelo. Los tres tipos diferentes de partículas difieren en su tamaño y en su capacidad de retención de nutrientes. La arena forma las partículas más grandes y la arcilla las más finas. La retención de nutrientes se refiere a la capacidad de las partículas del suelo para suministrar nutrientes a las plantas: la arcilla puede retener más nutrientes que la arena y por lo tanto es capaz de liberar más nutrientes para las plantas.

Las partículas de arena, limo y arcilla se agrupan a la vez en unidades de diferentes tamaños; estos son conocidos como agregados. La forma en la cual las partículas están agrupadas es llamada estructura del suelo.

La Agricultura de Conservación no afecta la textura del suelo, pero puede tener influencia sobre la estructura del suelo, la cual es el resultado del agrupamiento de las partículas del suelo. (Crovetto, C. 1997)

Figura 1 Un suelo limoso rojo con una fina estructura granular. *G. Sharp*

El contenido de materia orgánica de los suelos puede variar considerablemente, dependiendo del material madre, las condiciones climáticas y el manejo:

Los suelos ricos en materia orgánica, principalmente en regiones frías, pueden tener 60 – 70 por ciento de humus.

Los suelos forestales contienen más de 5 por ciento de materia orgánica los suelos que han sido arados por un largo tiempo y los suelos tropicales

Contienen entre 0.5-1.5 porciento.

Los suelos que tienen una adecuada agregación permiten la circulación del aire y el agua, la penetración de las raíces y evitan la formación de costras en su superficie. Además facilitan un buen contacto entre las semillas y el suelo permitiendo una buena absorción de agua y, por ende, una rápida germinación.

La compactación del suelo ocurre cuando las partículas están comprimidas unas con otras lo que reduce el desarrollo de las raíces, el movimiento capilar del agua y la infiltración de agua y aire; como consecuencia se incrementan la escorrentía y la erosión hídrica del suelo. Hay dos tipos de compactación (Crovetto, C. 1997):

1. la compactación del subsuelo
2. la costra superficial

Son inducidas por:

- La excesiva labranza.
- La labranza del suelo durante los periodos húmedos
- el tráfico excesivo de máquinas.
- Los vehículos con gran peso en los ejes.
- el pisoteo del ganado.

3.1 Generalidades de los suelos

El suelo es un sistema biogeoquímico natural que se origina como resultado de la intemperización de las rocas madres que emergen a la superficie por la acción conjunta del clima, vegetales, animales, etc (manual de nutrición básica 2013).

El suelo está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa (Figura 2). Cada una de ellas juega un papel primordial en la nutrición de las plantas.

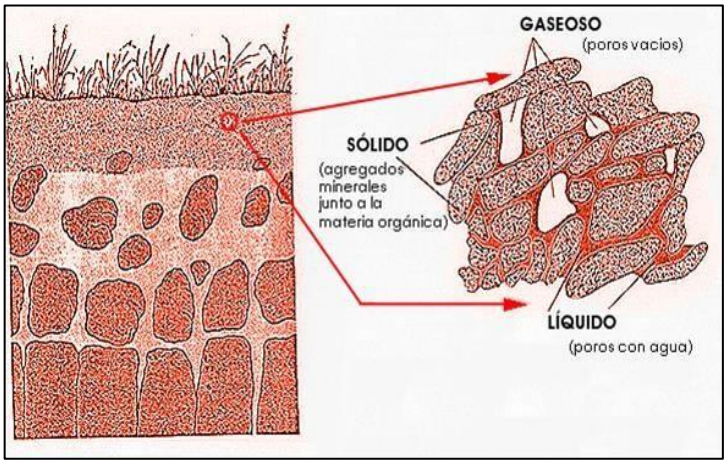


Figura 2. Fases que componen los suelos (manual de nutrientes básicos).

Se considera que la proporción óptima entre ellos en los suelos debe ser como se muestra a continuación.

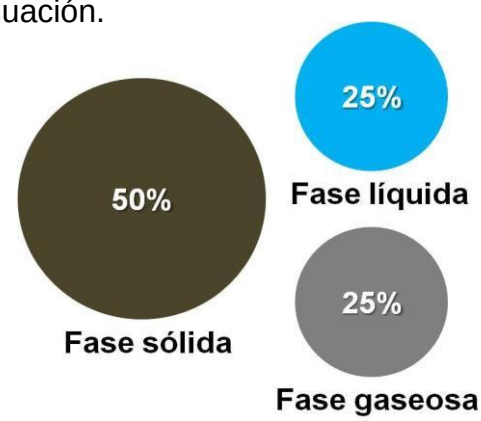


Figura 3 proporción óptima entre suelos (manual de nutrientes básicos)

Bajo estas condiciones, las raíces de las plantas se desarrollan normalmente ya que se encuentran a "capacidad de campo", este concepto se abundará posteriormente.

La fase sólida constituye la principal fuente de reservas de nutrientes para las plantas (figura 3). En esta parte los iones se encuentran sorbidos, es decir, adheridos al suelo mediante uniones electrostáticas.

La fase sólida del suelo está compuesta por una parte mineral (90-99%) y una parte orgánica (1-10%).

Cuadro 1. Composición química de la parte mineral del suelo. (Manual de nutrientes básicos)

Elemento	%	Elemento	%
Oxígeno	49	Sodio	0.6
Silicio	33	Magnesio	0.6
Aluminio	7.1	Hidrógeno	0.5
Hierro	3.7	Titanio	0.45
Carbono	2.0	Nitrógeno	0.1
Calcio	1.3	Fósforo	0.08
Potasio	1.3	Azufre	0.08

La parte orgánica (humus) de la fase sólida del suelo está compuesta por sustancias no humificadas (restos de plantas, microorganismos, etc. en descomposición) y sustancias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas).

La fase líquida del suelo es la parte del suelo más dinámica y activa en la que se realizan diversos procesos químicos y de la cual las plantas

asimilan directamente los nutrimentos. En esta fase se encuentran los nutrientes en forma iónica como aniones (HCO_3-, OH-, Cl-, H_2PO_4-, SO_4^{2-}, etc.) y como cationes (H^+, Na^+, K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}).(manual de nutrición básica 2013)

La fase líquida se abordará con más detalle en el tema sobre solución del suelo.

La fase gaseosa del suelo modifica el pH del suelo como se observa en la siguiente figura. A mayor concentración de CO2 en el suelo menor es su pH.

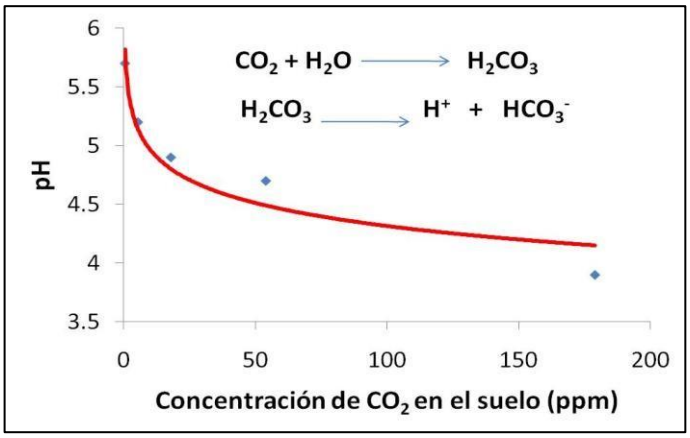


Figura 4. concentración de co_2 en el suelo (manual de nutrientes básicos)

3.1.1 Nutrientes esenciales

Las plantas están compuesta principalmente por tres elementos: carbono, hidrógeno y oxígeno (95 -98%). La mayor parte del carbono y el oxígeno se obtiene del aire, mientras que el hidrógeno deriva, directa o indirectamente del agua.

Además, las plantas contienen y necesitan de nutrientes (Figura 5) que generalmente, son proporcionados a través del sistema radicular. Estos elementos constituyen la fracción mineral y sólo representan una pequeña fracción del peso de materia seca de la planta (0.5 - 6%), pero no dejan de ser fundamentales para el vegetal, lo que explica que sean considerados junto al carbono, hidrógeno y oxígeno, elementos esenciales para la nutrición de las plantas (manual de nutrición básica 2013).

Figura 5. Nutrientes esenciales para las plantas (manual de nutrición básica 2013)**.**

Estos se pueden clasificar de la siguiente forma.

Macroelementos:

Estructurales: C, H y O. Principales: N, P y K.

Secundarios: Ca, Mg y S.

Microelementos: Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl y Ni.

Otros elementos son encontrados en las plantas y se denominan benéficos ya que pueden estimular la absorción o el transporte de otros elementos esenciales, limitar la absorción de otros que se encuentren en exceso o suplir parcialmente la falta de algún elemento esencial (manual de nutrición básica 2013).

Estos elementos son: sodio (Na), silicio (Si), cobalto (Co), vanadio (V), rubidio (Rb), estroncio (Sr), aluminio (Al), bario (Ba), titanio (Ti), etc.

Cuadro 2. Funciones de los nutrientes. (Manual de nutrientes básicos)

Nutriente	Principales funciones
Carbono	Principal constituyente de la materia viva y consecuentemente de todas las biomoléculas; carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.
Oxígeno	También se encuentra en todas las biomoléculas. Aproximadamente el 90% del oxígeno consumido en la célula es utilizado en la respiración (fosforilación oxidativa).
Hidrógeno	Está presente en todas las biomoléculas. Es importante en el equilibrio iónico y del pH. Participa en reacciones redox y en el intercambio de energía en la célula.
Nitrógeno	Importante componente de todas las proteínas y ácidos nucléicos. Está presente en coenzimas, nucleótidos, amidas, ureidos y en la clorofila entre otros.
Fósforo	Forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas. Como constituyente del ATP y muchas coenzimas (NAD, FAD) interviene en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía.
Potasio	Es activador o cofactor de más de 50 enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas. Participa en el equilibrio iónico y en la regulación osmótica.
Calcio	Es importante en la división celular y en la estabilidad de membrana y pared celular. Asociado con proteínas (calmodulinas) cumple funciones de mensajero secundario.
Magnesio	Participa como cofactor o activador en muchas reacciones enzimáticas. Se asocia al ATP en la transferencia de energía y es componente de la clorofila.

Azufre	Se encuentra presente en muchas proteínas y como el fósforo participa en reacciones de intercambio de energía.
Hierro	Es componente de muchas enzimas y juega un papel importante en la transferencia de electrones (reacciones redox), como en los citocromos, en las cadenas de transporte electrónico.
Manganeso	Es constituyente de algunas enzimas y activador de descarboxilasas y deshidrogenasas de la respiración. Cataliza la liberación de oxígeno en la fotolisis del agua.
Zinc	Componente esencial y activador de numerosas enzimas. Es necesario para la biosíntesis de la clorofila y ácido indolacético.
Cobre	Componente y activador de muchas enzimas, principalmente SOD (superóxido dismutasas) y constituyente de la plastocianina.
Boro	Participa en el metabolismo y transporte de carbohidratos y en la síntesis de pared celular.
Molibdeno	Es importante en la asimilación del nitrógeno, como constituyente de la nitrato-reductasa y de la nitrogenasa.
Cloro	Se requiere en fotosíntesis y en la fotolisis del agua. Participa en la división celular.
Níquel	Constituyente de la enzima ureasa.

3.1.2 Identificación de deficiencias nutrimentales.

El diagnóstico visual es una herramienta importante para establecer anomalías nutrimentales directamente en campo. Sin embargo, el técnico debe poseer suficiente experiencia para poder diferenciar una deficiencia y/o toxicidad nutrimental (síntoma típico) de un daño por plagas, clima, exceso de plaguicidas, humedad, etc. (síntoma atípico). Por tal motivo, es necesario considerar lo que en nutrición denominamos la "secuencia sintomatológica" o desarrollo del síntoma, como se observa a continuación, para el caso del nitrógeno (manual de nutrición básica 2013).

Figura.6 identificación de deficiencias nutrimentales (manual de nutrientes básicos)

Enseguida se describen algunos tips que pueden ayudar a obtener un diagnóstico visual más confiable y que ayudaría a discernir entre un síntoma nutrimental típico y otro atípico.

Simetría de síntomas.

En virtud de que los nutrientes se mueven vía xilema y/o floema, los síntomas pueden manifestarse simétricamente en la planta, es decir, la apariencia de las hojas de la "parte izquierda" de la rama deben ser idénticos a los de la "parte derecha" (Foto 1).

Figura 7. Simetría de síntomas en hojas de maíz.(manual de nutrientes básicos)

Movilidad

El conocimiento de la movilidad de los nutrientes en la planta es muy importante para identificar el elemento involucrado en el síntoma típico.

La simetría de síntomas en hojas adultas (basales) indica insuficiencia de los nutrientes móviles (N, P, K y Mg) y al contrario, los síntomas en hojas nuevas (retoños) indican deficiencia de los elementos inmóviles (Ca, S, Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo, Cl, Ni) (Foto 2).

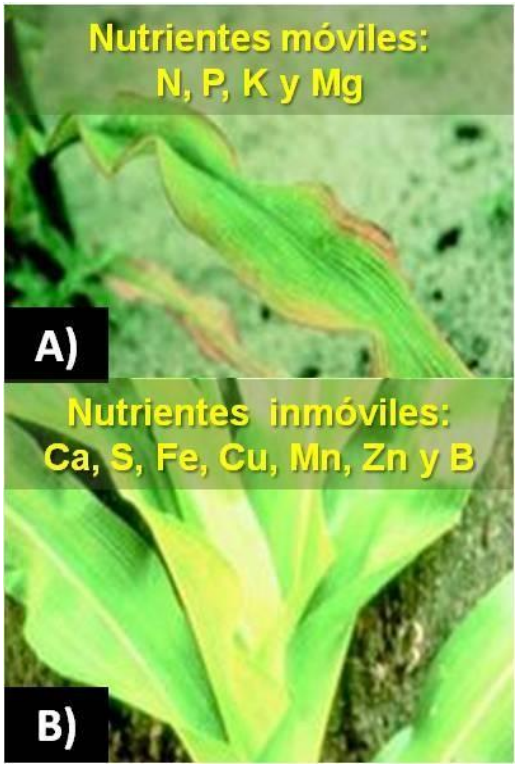


Figura 8. Síntomas de deficiencia de potasio en hojas basales (A) y deficiencia de azufre en hojas nuevas (B) de maíz. (manual de nutrientes básicos)

Universalidad de síntomas

La universalidad se refiere a que los nutrientes cumplen las mismas funciones internamente e independientemente del cultivo y sistema de producción.

Por tal motivo, un síntoma típico de deficiencia de nitrógeno se presentará primeramente como un amarillamiento generalizado en hojas adultas en maíz, trigo, frijol, cebada, etc. independientemente si estos son desarrollados en hidroponía, fertirriego, orgánicamente, etc (manual de nutrición básica 2013).

NITROGENO

Los síntomas de deficiencia de N aparecen en las hojas adultas (Foto 3). Bajo poca disponibilidad de N las plantas detienen su crecimiento y son débiles. Las hojas son pequeñas, el color del follaje es de verde claro a amarillo y las hojas viejas caen prematuramente. El crecimiento de las raíces se reduce y su ramificación se restringe, de tal manera que la relación vástago/raíz se incrementa. El rendimiento y su calidad se reducen significativamente.

Figura 9. Deficiencia de nitrógeno en maíz. (manual de nutrientes básicos)

FOSFORO

La deficiencia de P generalmente ocurre cuando su concentración en las plantas está por debajo de 0.2% y puede ser causada por bajas temperaturas del suelo. La deficiencia de P retarda el crecimiento y disminuye la cantidad de raíces. Los síntomas incluyen un color verde oscuro en las hojas adultas, una coloración púrpura típica a lo largo de la hoja y necrosis en los márgenes de éstas pueden aparecer.

Figura 10. Deficiencia de fósforo en maíz. (manual de nutrientes básicos)

POTASIO

Los síntomas de deficiencia de K se manifiestan usualmente como un color de verde claro amarillo alrededor de los márgenes y puntas de las hojas adultas, los cuales, posteriormente, evolucionan a necrosis ("quemadura"). Las plantas deficientes en K son más sensibles a las enfermedades.

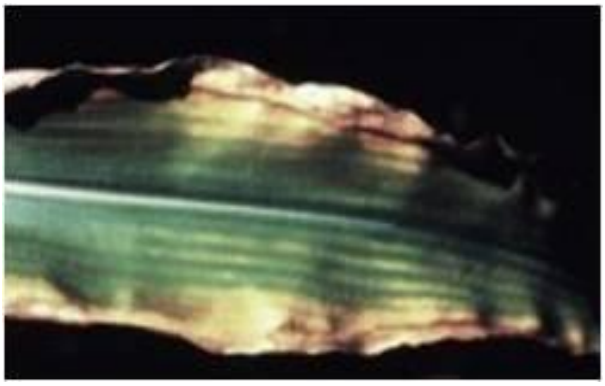


Figura 11. Deficiencia de potasio en maíz. (Manual de nutrientes básicos)

CALCIO

La deficiencia ocurre primeramente en los meristemos apicales y hojas jóvenes debido a que el Ca es muy poco móvil en la planta. Las hojas que presentan deficiencia de Ca son cloróticas, y en etapas posteriores éstas pueden necrosarse en los márgenes. Las deficiencias temporales de Ca pueden ocurrir cuando los niveles de este elemento en el xilema son bajos, debido a la reducción en la tasa de transpiración ocasionada por la alta humedad relativa, días nublados o poca disponibilidad de agua. La aplicación exógena de Ca puede hacerse de manera preventiva pero no como medida correctiva (manual de nutrición básica 2013).

Figura 12. Deficiencia de calcio en maíz. (Manual de nutrientes básicos)

MAGNESIO

La deficiencia de Mg se caracteriza por un amarillamiento internerval de la hoja que progresa desde los márgenes hacia el centro de la hoja. El patrón más típico de deficiencia de Mg es un tejido de conducción verde rodeado de un fondo amarillo. Básicamente, las hojas se tornan duras y quebradizas y las nervaduras se tuercen. La absorción de magnesio disminuye cuando el pH del suelo es menor de 5.5.

Figura 13. Deficiencia de magnesio en maíz (Manual de nutrientes básicos).

AZUFRE

Las causas principales de deficiencia de azufre en cultivos agrícolas son las bajas concentraciones de éste nutrimento en el suelo o altos contenidos de N en el mismo (en forma de nitrato), lixiviación de sulfatos, o un inadecuado régimen de humedad. La deficiencia de azufre se puede corregir fácilmente con aplicaciones de fertilizantes con S al suelo. El S es poco móvil en la planta por lo que los síntomas de deficiencia (color verde-amarillo) aparecerán primeramente en las hojas jóvenes.

Figura 14. Deficiencia de azufre en maíz (Manual de nutrientes básicos)

HIERRO

Los síntomas por carencia de Fe son muy similares a los del Mg, debido a que ambos participan en la formación de clorofila. Sin embargo, la clorosis internerval aparece primeramente en las hojas nuevas debido a que el Fe es un elemento inmóvil en la planta. La falta de Fe ocasiona acumulación de aminoácidos y nitratos en las plantas.

Figura 15. Deficiencia de hierro en maíz (Manual de nutrientes básicos)

BORO

La deficiencia de boro puede causar una elongación retardada o anormal de los puntos de crecimiento y/o meristemos apicales. La acumulación de auxinas y fenoles induce necrosis de las hojas y otros órganos de las plantas. Las raíces llegan a presentar necrosis en las puntas.

MANGANESO

La sintomatología por falta de Mn en las plantas es muy diferente en función de la especie, aunque la apariencia de las plantas es similar a la que manifiestan aquellas sin Fe y Zn. De manera general, la carencia de Mn ocasiona una clorosis entre las nervaduras de las hojas jóvenes (manual de nutrición básica 2013).

COBRE

El cobre es inmóvil en la planta por lo que los síntomas por deficiencia de éste aparecen en las hojas nuevas. Los efectos negativos consisten en la reducción del crecimiento con distorsión de las hojas jóvenes y los puntos de crecimiento, así como muerte de los meristemos apicales. La floración y fructificación son afectados por la falta de Cu. El polen y los ovarios en las flores son muy sensibles a la carencia de Cu.

Figura 16. Deficiencia de cobre en maíz (Manual de nutrientes básicos)

ZINC

La deficiencia de zinc en plantas ocasiona clorosis entre las nervaduras de las hojas jóvenes. Un síntoma típico por falta de este elemento es el acortamiento de entrenudos (“arrosetamiento”)

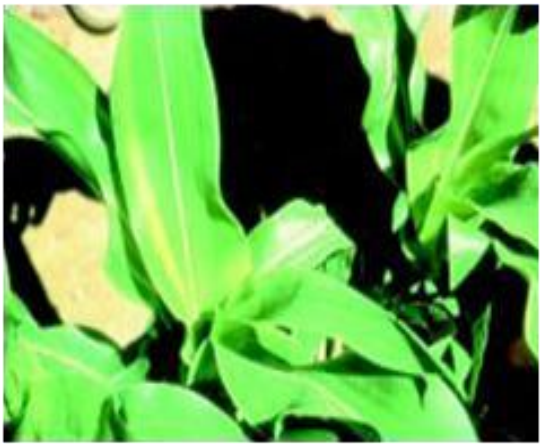


Figura 17. Deficiencia de zinc en maíz (Manual de nutrientes básicos)

3.2. Efectos de la Agricultura de Conservación sobre las propiedades del suelo

Bajo la Agricultura de Conservación se establece una nueva dinámica del suelo, dando lugar a fuertes interacciones entre la fauna, las raíces de las plantas, el agua, el aire, la temperatura y el reciclaje de los nutrientes. Como es difícil atribuir los cambios positivos a una o pocas propiedades del suelo, los efectos de la Agricultura de Conservación serán descritos por:

Propiedades físicas del suelo (agua, temperatura, porosidad, densidad), y Propiedades químicas del suelo (nutrientes y acidez)

Las propiedades biológicas del suelo (materia orgánica, micro y macrofauna) son discutidas en el módulo Materia orgánica y actividad biológica.

En la Agricultura de Conservación, se mantienen una estructura óptima del suelo y el mantillo, maximizando el acceso de los cultivos a los pocos nutrientes que constantemente son suministrados mediante la mineralización de la materia orgánica. En cierta medida, las raíces más profundas, que tienen un gran número de raíces absorbentes, pueden capturar grandes cantidades de nutrientes, incluso en horizontes del suelo con concentraciones extremadamente bajas de nutrientes.

Las grandes cantidades de biomasa depositadas en el suelo por los cultivos y los cultivos de cobertura, mantienen o, con el correr del tiempo, mejoran la estructura del suelo, de modo que la tierra permitirá que los cultivos accedan más eficientemente a las bajas concentraciones de nutrientes de los horizontes superiores del perfil del suelo. Mientras tanto, la materia orgánica en la superficie del suelo o cerca de ella producida durante los períodos de barbecho, continúa suministrando nutrientes en pequeñas cantidades que pueden mantener razonablemente altos niveles de productividad. (Altieri y Merrick 1999)

El acceso de los nutrientes a las plantas es un fenómeno complejo que está relacionado con un gran número de factores; ciertamente, es ayudado por la aplicación de nutrientes en la superficie del suelo o junto con la materia orgánica o muy cerca de la semilla, o mediante el crecimiento de las plantas en suelos bien granulados libres de capas compactadas. Esos factores pueden incluir la temperatura del suelo, los niveles de materia orgánica del suelo, el pH, las propiedades químicas del suelo, la presencia de capas compactadas y el equilibrio y la ubicación de los nutrientes, todos los cuales son afectados a su vez por la actividad de cientos de miles de microorganismos que puede haber en solo un centímetro cúbico de suelo. Por lo tanto, el acceso a los nutrientes involucra un conjunto de sucesiones dinámicas sobre las cuales, hasta el momento, los conocimientos son limitados.

Básicamente, la alimentación de las plantas a través del mantillo ayuda a compensar la falta de condiciones ideales de estructura de suelo o de crecimiento de la planta, suministrando una fuente suplementaria de nutrientes fácilmente disponibles, en cantidades pequeñas pero constantes en la superficie del suelo; de ese modo no es imprescindible que los cultivos desarrollen un enorme sistema radicular que se extienda profundamente dentro

del perfil del suelo. Obviamente, el acceso de los nutrientes a las plantas será mejor si los nutrientes están en la superficie del suelo que si están más profundos, especialmente en los suelos empobrecidos, ácidos o con problemas de toxicidad de aluminio.

Los rendimientos en los sistemas de Agricultura de Conservación no dependen de la alta concentración de nutrientes. Dependen de la fijación del nitrógeno y del reciclaje de gran cantidad de materia orgánica lo cual hace que el fósforo y otros nutrientes en el suelo sean más solubles (o sea, químicamente disponibles); además la mayoría de estos nutrientes están cerca de la superficie del suelo, fácilmente accesibles para las raíces de las plantas. Tal sistema puede, por lo tanto, producir buenos rendimientos durante largos períodos con poca o ninguna aplicación de nutrientes adicionales (aunque, eventualmente, puede ser necesario agregar nutrientes, en particular fósforo, para lograr sostenibilidad) (Bunch, 2003).

Muchos suelos tropicales húmedos con pH menor de 5,0, toxicidad de aluminio y capas compactadas no conforman un ambiente favorable para las raíces de los cultivos. Los cultivos crecerán mejor si pueden además acceder a los nutrientes de una capa gruesa de residuos o mantillo. En realidad la mayoría, si no todos los cultivos que crecen en los trópicos húmedos, extenderán la gran mayoría de sus raíces para alimentarse inmediatamente por debajo y dentro de la capa de mantillo, siempre y cuando haya humedad. O sea, se alimentarán más fácilmente desde dentro e inmediatamente debajo de la capa de mantillo que en el propio suelo.

Efecto de la Agricultura de Conservación sobre las propiedades físicas del suelo

La «pérdida de estructura» es una característica usada a menudo para describir los perfiles del suelo que han sido labrados por un largo tiempo. Esto es causado en parte por la reducción del contenido de materia orgánica y humus del suelo. La materia orgánica tiene una función importante en la formación y estabilización de los agregados del suelo, resultando en una alta resistencia a la desintegración.

- La más alta estabilidad de los agregados bajo la agricultura de conservación es el resultado de los siguientes elementos (Kochhann, 1996):
- la presencia de una capa de mantillo que protege a la superficie del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia
- la no alteración del suelo
- la presencia de materia orgánica en descomposición sobre la superficie que induce la formación de agregados en los 0 - 3 cm superiores
- el incremento en la densidad del suelo, lo que hace que los agregados sean más resistentes a los cambios
- la mayor concentración de calcio y magnesio en la capa superficial lo que afecta positivamente a la estructura

Aunque su actividad es temporal y será sustituida anualmente, las bacterias y las hifas de los hongos también cumplen una función importante en la

conexión de las partículas de suelo (Castro Filho *et al*., 1998).

Figura 18.
Las hifas de las micorrizas y las raíces transforman las partículas del suelo en agregados (Castro Filho et al., 1998)

La preservación de la estabilidad de los agregados es importante a fin de reducir el sellado superficial y aumentar las tasas de infiltración. Con el aumento de estabilidad de la superficie se reduce la escorrentía (Roth, 1985).

Las áreas que nunca han sido aradas y con una adición constante de material vegetativo como las áreas forestales, tienen una densidad aparente baja y un alto volumen de macroporos. La densidad aparente indica la masa o el peso de un cierto volumen del suelo.
En este caso, el suelo está constituido por muchos canales y poros, pesa menos que el mismo volumen de ese suelo cuando está compactado. La Figura 1 muestra las diferencias en la densidad aparente y macroporosidad de un suelo bajo diferentes tipos de manejo.

Los túneles o canales excavados por las lombrices de tierra y los canales dejados en el suelo por las raíces muertas aumentan la porosidad del suelo y mejoran la actividad biológica y la formación de agregados de partículas. La porosidad mejora la infiltración y la percolación del agua y reduce la escorrentía.

El mantenimiento de los residuos de los cultivos sobre la superficie del suelo aumenta la conservación de la humedad en el perfil del suelo, especialmente en áreas secas. Los residuos de cultivos en la superficie:

- incrementan la infiltración de agua por medio de la prevención del encostramiento y mejoran la estructura del suelo.
- capturan más humedad que los suelos descubiertos, debido a la

rugosidad superficial.

- dan sombra al suelo y, por lo tanto, se reduce la evaporación.
- aumentan la capacidad de retención de agua del suelo gracias al mejoramiento de la estructura.

La tasa de infiltración de agua depende de los siguientes factores del suelo:

- Textura
- Densidad y porosidad
- Estabilidad de agregados, y
- Cobertura

Las áreas en las cuales la agricultura de conservación ha sido practicada por largo tiempo han desarrollado una buena estructura del suelo y macroporosidad. El módulo «Humedad del suelo» analiza en más detalle los efectos de la Agricultura de Conservación en suelos que contienen humedad.

La conservación de la vegetación del barbecho como una cobertura en la superficie del suelo y la consiguiente reducción de la evaporación, da como resultado un 4 por ciento más de agua en el suelo. Esto representa 80 mil litros/ha de agua en los 20 cm superiores del suelo (o una lluvia adicional de 8 mm). Esta cantidad de agua «extra» puede establecer la diferencia entre la marchitez y la supervivencia de un cultivo durante los períodos secos.

La cobertura del suelo no solo protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia, sino que previene la pérdida de agua del suelo por evaporación; además protege al suelo del impacto del sol. La cobertura reduce la temperatura del suelo.

La temperatura del suelo influye sobre la absorción del agua y los nutrientes por las plantas, la germinación de las semillas y el desarrollo de las raíces y también en la actividad microbiana y en el encostramiento y endurecimiento del suelo. Las raíces absorben más agua cuando aumenta la temperatura del suelo, hasta un máximo de 35 ºC. Temperaturas mayores reducen la absorción del agua.

Las temperaturas del suelo demasiado altas son una limitante importante para la producción de cultivos en muchos suelos. Las temperaturas máximas que exceden 40 ºC a 5 cm de profundidad y 50 ºC a 1 cm de profundidad se observan comúnmente en suelos labrados durante la época de crecimiento. En algunos casos extremos se llega a 70 ºC. Tales temperaturas afectan adversamente no solo el establecimiento de las plántulas y el crecimiento del cultivo, sino también el crecimiento y desarrollo de la población de microorganismos. La temperatura ideal de la zona radical para la germinación y crecimiento de las plántulas está comprendida entre 25 – 35 ºC. Las temperaturas que exceden 35 ºC reducen drásticamente el desarrollo de las plántulas de maíz y la semilla de soya ve casi totalmente inhibida su germinación cuando la temperatura excede 40 ºC.

3.2.1 Manejo de la fertilidad del suelo

Los cultivos necesitan los mismos nutrientes en los sistemas de la Agricultura de Conservación que en los sistemas de labranza convencional. La diferencia radica en el tipo y momento de aplicación de los fertilizantes, así como la reducción de las actividades de preparación de tierra que pueden actuar sobre los nutrientes en las siguientes formas:

- los nutrientes inmóviles pueden acumularse en las capas superficiales
- la mineralización del nitrógeno se reduce en la agricultura de conservación
- durante la descomposición de los residuos de los cultivos, el nitrógeno puede inmovilizarse
- la aplicación superficial de fertilizantes amoniacales pueden acidificar la superficie del suelo

Cuando se usan sistemas de labranza mínima en la Agricultura de Conservación, la aplicación de fertilizantes no diferirá de la práctica de aplicación en los sistemas convencionales. Sin embargo, cuando se aplica la siembra directa en la Agricultura de Conservación, las estrategias deben ser desarrolladas para superar los factores arriba mencionados.

Acumulación de nutrientes inmóviles

Todos los nutrientes muestran cierta movilidad en el suelo:

- El fósforo y el potasio son inmóviles
- El nitrógeno es móvil, permanece en la solución del suelo y puede ser lixiviado fuera de la zona radical cuando no hay raíces para absorberlo.

Para que las raíces tomen los nutrientes aportados como fertilizantes, estos necesitan ser disueltos en la solución húmeda del suelo y estar cerca de las mismas. Como el fósforo y el potasio son altamente inmóviles deben ser colocados cerca de las raíces por lo que se recomienda la aplicación en bandas.

La lenta mineralización de la materia orgánica en la Agricultura de Conservación permite la liberación del fósforo y el potasio en la capa superficial del suelo. Igualmente, no ocurre una acumulación de estos nutrientes porque los cultivos desarrollan raíces superficiales que los absorben y los movilizan dentro del perfil. El nitrógeno, por ser móvil, no necesita una forma de aplicación específica. Sin embargo, cuando no hay lluvias o la superficie del suelo no está húmeda, el nitrógeno no se moverá dentro del perfil y se puede perder por volatilización. Por lo tanto, es recomendable aplicar en bandas por lo menos una parte del fertilizante nitrogenado.

Las prácticas siguientes pueden evitar la acumulación de nutrientes en la capa superior del suelo:

- niveles correctos de nutrientes del suelo antes de implementar el nuevo sistema

- aplicar parte del fertilizante en bandas colocadas cerca de las semillas
- distribuir fertilizante para obtener niveles adecuados de fósforo y potasio en la zona radical
- evaluar los niveles de nutrientes a diferentes niveles de profundidad del suelo: 10, 20 y 30 cm y repetir este ejercicio cada tres o cuatro años
- controlar los niveles de nutrientes durante los primeros dos o tres años mediante análisis de suelos
- mantener la superficie cubierta en forma homogénea con residuos de tal forma que la humedad se distribuya en forma uniforme y se estimule el crecimiento de las raíces superficiales a fin de absorber y movilizar los nutrientes en la capa superior.

Manejo del nitrógeno

Hay tres factores que pueden impedir la disponibilidad del nitrógeno del suelo para las plantas:

- la inmovilización
- la mineralización
- la volatilización

La inmovilización es causada por microorganismos que absorben rápidamente las distintas formas del nitrógeno como nitratos (NO3) y amonio (NH4) para poder descomponer los residuos del cultivo y otras materias orgánicas. Mientras los microorganismos usan el nitrógeno, este no está disponible para su absorción por las plantas, hasta el momento en que la materia orgánica es descompuesta, los microorganismos mueren y el nitrógeno es nuevamente liberado.

La mineralización es el proceso por el cual el nitrógeno orgánico de los aminoácidos o proteínas es transformado por los microorganismos en amonio ($NH4^+$) y después en nitrato ($NO3^-$):

N orgánico + H2O □ *microorganismos* □ $NH4^+$ + R-OH
$NH4^+$ + O2 □ *Nitrosomonas* □ $NO2^-$ + O2 □ *Nitrobacteria* □ $NO3^-$

Aunque las plantas pueden fácilmente absorber ambas formas de nitrógeno, por lo general el amonio es rápidamente transformado en nitrato. Este puede ser absorbido por las plantas o ser eliminado del perfil del suelo y perdido para el crecimiento de la planta.

Durante los primeros años de la Agricultura de Conservación el nitrógeno se encuentra principalmente en forma orgánica (inmovilizado) y, por lo tanto, no disponible para el crecimiento de las plantas. Debido a que el proceso de mineralización en los primeros años es lento, el nitrógeno para el crecimiento de la planta debe ser aplicado en forma adicional, como fertilizante.

Volatilización

En el caso de la distribución de urea durante períodos muy húmedos o en suelos muy húmedos, se convierte rápidamente en amoníaco por la acción de una frecuente enzima natural (ureasa). Una parte del amoníaco es transformado en amonio y permanece en la solución del suelo, mientras que la otra parte desaparece directamente en la atmósfera (volatilización) y no es utilizado para el crecimiento de la planta.

Urea $(CO(NH_2)_2) + H_2O$ □ $NH_3 + H_2O + CO_2$ □ NH_4^+

Para evitar la falta de nitrógeno disponible para el crecimiento de las plantas como resultado de la lenta mineralización y los procesos de volatilización e inmovilización, el nitrógeno debe ser bien manejado:

- dar algún tiempo a la materia orgánica para ser descompuesta antes de la siembra
- antes de la siembra aplicar 25 - 72 kg/N/ha con el objetivo de prevenir los efectos de la inmovilización
- durante la siembra, aplicar nitrógeno en bandas para prevenir la inmovilización usar nitratos en lugar de amonio, ya que se disuelven más fácilmente y, por lo tanto, son más móviles en el suelo.

Con el pasar del tiempo, las raíces del cultivo de cobertura y el incremento de la micro y macrofauna del suelo reciclarán eficientemente los nutrientes de las plantas, lo que llevará a una menor necesidad de fertilizantes para obtener el mismo o mayor rendimiento (Figura 7). El impacto de los fertilizantes químicos puede a veces ser sensiblemente incrementado si se aplica a la cobertura o mantillo en lugar del suelo. En Costa Rica, los rendimientos de fríjol en el sistema de «frijol tapado», un sistema tradicional de siembra con cobertura con paja, apenas se incrementaron por encima de los rendimientos tradicionales de 500 kg/ha cuando se aplicó fertilizante fosfatado mineral al suelo. Sin embargo, los rendimientos subieron de dos a tres veces por encima de los rendimientos tradicionales a más de 2t/ha cuando se aplicó fósforo inorgánico directamente a la cobertura. Los investigadores en África han observado además que los fertilizantes aplicados a los materiales de la cobertura son más eficientes que cuando son incorporados al suelo (Thurston, 1997).

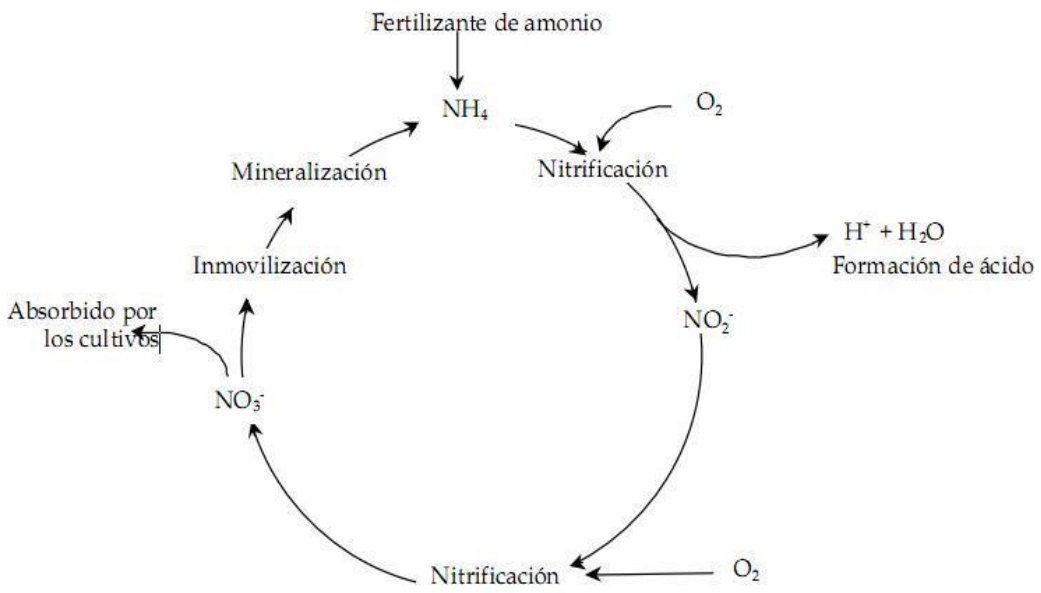
Acidificación del suelo

El uso de ciertos fertilizantes nitrogenados tiene efecto sobre la acidez del suelo. Generalmente, los cultivos prefieren un pH entre 6 y 7, debido a que este valor permite la máxima disponibilidad de nutrientes. Las aplicaciones superficiales del nitrógeno reducen el pH y como resultado reducen el efecto de ciertos herbicidas. En particular, los fertilizantes amoniacales como la urea y los fosfatos mono- y biamónico, son rápidamente convertidos en nitratos a través del proceso de nitrificación, liberando ácidos y, por lo tanto, incrementando la acidez de la parte superior del suelo (Figura 19).

Muchos estudios informan acerca un aumento de la acidificación del suelo en los sistemas basados en leguminosas causado por una intensa nitrificación, seguido por la lixiviación del NO_3^- y la excreción del H_3O^+ por las raíces de las

leguminosas y la exportación de los productos vegetales y animales. En general, los sistemas basados en leguminosas no incrementan la acidificación del suelo en su capa superficial, donde ocurren las acumulaciones mayores de materia orgánica.

FIGURA 19
Proceso de nitrificación y formación de ácido en la parte superior del suelo.



Muchos estudios informan acerca un aumento de la acidificación del suelo en los sistemas basados en leguminosas causado por una intensa nitrificación, seguido por la lixiviación del $NO3^-$ y la excreción del $H3O^+$ por las raíces de las leguminosas y la exportación de los productos vegetales y animales. En general, los sistemas basados en leguminosas no incrementan la acidificación del suelo en su capa superficial, donde ocurren las acumulaciones mayores de materia orgánica.

La agricultura tradicional en México

La agricultura es la actividad en la cual el hombre, en un ambiente dado, maneja los recursos naturales, la calidad y cantidad de energía disponible y los medios de información, para producir y reproducir los vegetales que satisfacen sus necesidades. Se inició con base en una gradual acumulación de conocimiento ecológico y biológico sobre los recursos naturales utilizados, y se desarrolló mediante sistemas autóctonos de generación y transmisión de dichos conocimientos y de adaptación y adopción de innovaciones tecnológicas en varias áreas del mundo, entre ellas México.

El término de agricultura tradicional se deriva de la forma en que se difunden los conocimientos, y se distingue por lo reducido de cantidad y la calidad de la energía usada en el agroecosistema; predomina en las tierras agrícolas del mundo con climas favorables o marginales para la producción (FAO, 2004).

A raíz de la actividad intelectual humana en el Medio Oriente y el Mediterráneo para generar conocimientos, se configuró el método científico, basado en supuestos materialistas cuantitativos. Al desentrañar la naturaleza de los fenómenos reales, e incorporar los conocimientos empíricos de todo el mundo, este método permitió que el hombre los manejara. Al cabo del tiempo, su expansión coadyuvó al surgimiento de la Revolución Industrial, caracterizada entre otras cosas por el uso cada vez mayor de energía en las actividades humanas. Al aplicarse el método científico occidental a los problemas agrícolas se aceleró la invención y el diseño de maquinaria e instrumentos, así como de formas, cada vez más variadas de proveer energía al agroecosistema en labores como movimiento del suelo, modificación de la topografía, construcción de estructuras para riego y' empleo de fertilizantes y combustibles fósiles. En la actualidad la agricultura moderna se caracteriza por la introducción de energía, el uso de productos industriales; transportes mecánicos, plasma germinal mejorado, mecanización, comunicación y computación electrónicas, educación, etcétera (CONAF, 2009).

3.3.1 Daños de la agricultura convencional en el suelo

Los cambios tecnológicos en los últimos 70 años han marcado no sólo una forma tremendamente agresiva de tratar al Medio Natural sino también de dirigir las voluntades de los consumidores. La Agricultura desarrollada y apoyada por las Administraciones Públicas desde 1940 (inicio de la Revolución Verde) tiene como principal objetivo la máxima rentabilidad en las producciones, para lo cual se practica el monocultivo, teniendo como primera y principal consecuencia el desequilibrio y final desaparición de las poblaciones de seres vivos del suelo (Brammer, 2000).

Dependencias y consecuencias de la Agricultura convencional (A.C), semillas, labores, uso de pesticidas y fertilizantes de síntesis química.

Primera dependencia:

El objetivo de máxima rentabilidad y el monocultivo están asociados con grandes superficies de cultivo. La primera necesidad del agricultor es adquirir maquinaria que le permita obtener los beneficios buscados. Comprará grandes y potentes tractores así como aperos adecuados al nivel de sobreexplotación de la tierra. Maquinaria que tiene un costo muy elevado.

Consecuencias:

Compactación de los suelos por la maquinaria tan pesada, endeudamiento del agricultor.

Segunda dependencia:

Las semillas que se utilizan en A.C son materiales híbridos, de las que se obtienen frutos que a su vez contienen semillas que no sirven para la siembra de futuras campañas. De esta forma, el agricultor de A.C se ve obligado todos los años a comprar la semilla que necesita para el cultivo siguiente. Material que por otra parte está tratado con funguicidas de síntesis (Moreno, 2010).

Consecuencias:

Pérdida de biodiversidad, consumo de fitosanitarios de síntesis química, mayor costo para el agricultor.

Tercera dependencia:

Para compensar el desequilibrio de nutrientes, plagas y enfermedades que genera el monocultivo, el agricultor convencional busca respuesta en los agroquímicos (fertilizantes y pesticidas), vendidos hábilmente por el técnico de turno (los técnicos de carreras relacionadas con la Agronomía se someten a planes de estudio que parecieran dictados por las grandes empresas con intereses en el sector de la Agricultura y la alimentación). De esta forma el desequilibrio se intensifica con la práctica y el agricultor entra en un círculo vicioso de consumo de estos productos. Salir de estos hábitos supone años de trabajo para recuperar los ciclos naturales de transformación de la materia orgánica.

Además, el uso masivo de moléculas de síntesis química en pesticidas está asociado directamente a la salud de las personas (operarios de las fábricas de fitosanitarios, agricultores por exposición directa en la aplicación y consumidores) (Moreno, 2010).

3.4 Agricultura de conservación y su importancia

Antes de introducir la agricultura de conservación puede ser necesario eliminar o aliviar algunos de los efectos más importantes de la degradación tales como las capas compactadas, las deficiencias de nutrientes, la toxicidad o la fuerte invasión de malezas. Dependiendo de su profundidad, las capas compactadas en el suelo deben ser rotas pudiendo ser necesario el uso de subsoladores. El subsolado de suelos compactados o degradados puede dar resultados espectaculares debido a la mayor infiltración de agua con aumentos inmediatos de rendimiento de más de 30 por ciento. Sin embargo, el subsolado es una operación que demanda gran cantidad de energía. En los suelos degradados puede fácilmente llevar a una recompactación del suelo que puede ser incluso más severa que la compactación inicial. Por lo tanto, el subsolado es una operación que debe ser hecha conjuntamente con otras operaciones para mejorar la estructura del suelo y teniendo cuidado de no compactar el suelo suelto. Los suelos arenosos son particularmente propicios a la compactación y puede ser necesario repetir el subsolado en pocos años, incluso utilizando la labranza cero (FAO, 2002).

En el primer año y probablemente en el segundo, antes de cambiar a un verdadero sistema de labranza mínima o labranza cero. Es necesario seleccionar las herramientas de modo que aflojen el suelo con el menor disturbio de la superficie y se debe evitar a todo costo el transporte de terrones hacia la superficie del suelo.
El subsolado biológico usando especies de raíces profundas como el guandul (*Cajanus cajan*) y el ricino (*Ricinus communis*) para romper el piso de arado pueden ser una opción económica y sostenible, si bien más lenta, ya que los elementos vegetales permanecen en el suelo en forma de canales de las raíces, y porque se agrega materia orgánica adicional al suelo (Arvalis, 2001).

Las deficiencias importantes de nutrientes deberían ser corregidas incorporando fertilizantes minerales al suelo, sobre todo los elementos relativamente inmóviles como el fósforo de modo de estimular el enraizamiento profundo. La toxicidad de aluminio, la salinidad u otras serias anomalías físicas o químicas pueden requerir remedios químicos. Sin embargo, estas acciones deberían ser bien planeadas y la operación de mejoramiento definida en cada caso específico, debería ser cuidadosamente ejecutada. El control de las malezas es una operación crítica para una transición exitosa a la agricultura de conservación; el crecimiento de las malezas debe ser controlado, no solo durante el cultivo, sino también entre las distintas estaciones de cultivo para prevenir la formación de semillas de malezas y la utilización innecesaria que estas hacen de la humedad del suelo. Esto se puede
obtener por medio de los cultivos de cobertura o por medio del control químico de las malezas. La necesidad de comprar algunos insumos como fertilizantes minerales y herbicidas puede aumentar en algunos casos, en las etapas iniciales de la fase de adopción de la agricultura de conservación, pero solamente hasta que se ha llegado a un alto nivel de fertilidad del suelo y de actividad biológica y que se ha establecido un nuevo equilibrio entre los cultivos y otras plantas, las malezas y entre las plagas y los organismos benéficos (FAO 2002).

En los suelos severamente degradados puede ser necesario cultivar densamente abonos verdes e incorporarlos profundamente en su capa superior durante el primer año. Esta es sin embargo la primera etapa; más adelante, la biomasa debería ser manejada sin incorporar al suelo. De esta forma se puede aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo, la cual tiene gran influencia en la actividad de la población de los microorganismos. Los abonos verdes y otra vegetación pueden ser manejados como cobertura del suelo por medios mecánicos y rodillos con cuchillas, cortadoras, trituradoras o por medio de la desecación con herbicidas.

De acuerdo a (FAO, 2000) La rotación de cultivos, que es una práctica importante en la agricultura de conservación, permite hacer más de un cultivo contemporáneamente, lo cual favorece a los agricultores que pueden distribuir los riesgos de la fluctuación de precios. También, además de los efectos positivos sobre la materia orgánica del suelo y el ciclo de los nutrientes, las rotaciones pueden romper los ciclos de las enfermedades, malezas y plagas. La rotación de cultivos es la base para la sostenibilidad de los sistemas de siembra directa. Un sistema de producción que incluya abonos verdes, rotación de cultivos y labranza cero puede ser adaptado, a nivel regional y por lo tanto puede contribuir a la sostenibilidad del manejo del suelo de la región en su conjunto.
Cuando los cultivos se hacen en rotación, por lo general rinden más que cuando el mismo cultivo se hace sobre la misma tierra un año tras otro. Las rotaciones también pueden ayudar a distribuir las necesidades de mano de obra en forma más uniforme durante todo el año. La presencia de residuos de cultivos sobre la superficie del suelo requiere cambios en las técnicas de siembra o plantación usadas por los agricultores. Los cultivos de cobertura y los residuos de cultivos pueden ser manejados con herbicidas desecantes o

mecánicamente por medio de cortes, trituración o doblado de las plantas (FAO, 2000).

3.4 Agricultura de conservación en cultivos de maíz

Hay varias alternativas de cultivos que pueden ser usadas como cobertura vegetativa, como los cereales, las leguminosas y los cultivos de oleaginosas. Todas estas especies son de gran beneficio para el suelo; sin embargo, algunos cultivos presentan mayores beneficios, lo cual es útil tener en cuenta para cuando se planee el esquema de rotación. Es importante comenzar los primeros años de la Agricultura de Conservación con cultivos de cobertura que dejen una gran cantidad de residuos sobre la superficie del suelo y que se descompongan lentamente (debido a su alta razón C/N). Los pastos y cereales son los más apropiados para esta etapa porque debido a su agresivo y abundante sistema de raíces requieren un corto tiempo para mejorar el suelo (Casanova y Savon, 1995).

La agricultura de conservación busca una producción sostenible y rentable, basada en tres principios: una perturbación mínima y cobertura permanente del suelo, características de la siembra directa y la rotación de cultivos. Considerada una solución a la inseguridad alimentaria y un mecanismo de adaptación al cambio climático, apropiado para el Caribe, esta práctica agrícola da réditos a sus seguidores.

Es aplicada en unas 100 millones de hectáreas en el mundo. Más del 60 % de la población del Caribe depende directamente de la agricultura, por lo que una gran proporción de gente queda vulnerable frente a los cambios socioeconómicos y naturales. Los principales factores de debilidad son la baja productividad, las condiciones ambientales extremas como consecuencia del cambio climático y el alto costo de los insumos, según indica la (FAO, 2006). Con una situación ya comprometida por bajos ingresos y rendimientos, se hace cada vez más difícil para los hogares pobres lidiar con esas dificultades, lo que agrava la situación alimentaria.

En los años siguientes, cuando el suelo muestra un mejoramiento, las leguminosas pueden ser incorporadas a la rotación. Los cultivos de leguminosas enriquecen el suelo con nitrógeno y se descomponen rápidamente debido a su baja razón C/N. Más adelante, cuando el sistema está estabilizado es posible incluir cultivos de cobertura con una función económica, como por ejemplo forraje para el ganado.

Las rotaciones de cultivos incrementan los rendimientos de los cultivos, adicionan materia orgánica al suelo y mejoran su fertilidad. Los cultivos difieren por la cantidad y calidad de los residuos que producen y, por lo tanto, por sus efectos sobre las propiedades del suelo. Por ejemplo, los cultivos de leguminosas y de oleaginosas producen menos residuos que se descomponen más rápido, tienen una razón C/N más baja y son más fáciles de manejar durante la siembra directa, comparados con los cereales (Casanova y Savon, 1995).

Durante la planificación de una rotación de cultivo para la Agricultura de Conservación es necesario: alternar un cultivo de granos con uno de leguminosas u oleaginosas, alternar un cultivo que produce gran cantidad de residuos con uno que produce pocos residuos y determinar si el cultivo es rentable y si es costo/efectivo. El maíz, el fríjol, la soya, el girasol, el maní, el arroz, el algodón y el trigo son cultivos que usualmente muestran buenos rendimientos cuando se cultivan en rotación. El maíz, el trigo y el arroz son recomendados para ser cultivados en rotación ya sea con cultivos bien adaptados a zonas frías como la arveja, el lupino, las arvejas y el rábano o con cultivos tropicales como *Crotalaria juncea*, el gandul o la mucuna. Para la soya, el maní y el girasol es recomendable la rotación de cultivos con cereales como las avenas negra y blanca, el centeno o mezclas de avena + vicia, avena + colza, avena + arveja de campo o cultivos de ciclo corto como *Setaria italica*, mijo perla y sorgo. El girasol puede además ser rotado con leguminosas y otras especies que mejoran la fertilidad del suelo (Casanova y Savon, 1995).

3.5 La importancia del rastrojo

Los rastrojos corresponden a la biomasa aérea de los cultivos anuales que quedan en el campo como residuo después de la cosecha, los cuales son importantes y no debieran desperdiciarse, ya que tienen efectos positivos sobre el suelo. En general, constituyen entre el 50 y 75% del follaje del cultivo que queda en los potreros. En Chile, los residuos producidos por cultivos de trigo, avena y maíz se estiman en cuatro millones de toneladas por año, lo que representa una cantidad total de los principales nutrientes, equivalente a 113 mil toneladas (Derpsch et al, 2010).

Los rastrojos corresponden a las partes de los cultivos anuales que quedan en el Campo como residuo después de la cosecha (figura 20), constituyendo entre un 55% y un 75% del total.

A pesar de las numerosas ventajas que existen al dejar los rastrojos sobre el suelo, existen también dificultades. Los rastrojos, especialmente de los cereales, liberan compuestos químicos que provocan una menor germinación de semillas, por lo que se debe manejar estos residuos con el fin de no afectar la producción futura del potrero o del predio.

Fig. 20 Rastrojo en cultivos (David gonzalez)

La máquina y esparciendo homogéneamente los residuos sobre el área. Los tallos cortados por la cosechadora son triturados en diferentes partes en el interior de la máquina y salen expulsados por los ventiladores. El material expulsado por la cosechadora se puede triturar aún más, se desparrama conservando el ancho de la máquina; para ello, la cosechadora debe estar equipada con triturador y desparramador de paja, tener altura de corte y aletas regulables, para lograr anchos variables. Todo esto con el objeto de desparramar los rastrojos formando una capa homogénea en todo el potrero (Hobbs, 2007).

3.6 Beneficios del uso de rastrojo

El manejo de rastrojos permite obtener una serie de beneficios ambientales, tales como:

- Al evitar la quema del rastrojo, se reduce la contaminación ambiental.
- Mejora la oportunidad de siembra
- Los rastrojos, al cubrir el suelo, disminuyen la erosión por el agua de lluvia y la pérdida de agua del suelo por evaporación
- Favorece la infiltración del agua
- Aumenta la actividad biológica y el contenido de materia orgánica en el suelo
- Aporta abono orgánico a las plantas y mejora la fertilidad del suelo, disminuyendo así el costo en fertilizantes
- Mejora la estructura del suelo
- Evita el endurecimiento superficial de los suelos
- Evita las temperaturas muy altas y muy bajas en el suelo

Control de erosión. Una práctica adecuada para la conservación y fortalecimiento de las capas superficiales del suelo es la de cubrirlo con rastrojos o restos de la cosecha. Pero el suelo no solo se beneficia de esta manera, sino que, además, esta cobertura lo protege contra el arrastre causado por las lluvias (erosión hídrica), las cuales, en suelos con pendiente fuertes como las que usa el agricultor (>40%), son devastadoras. Cuando reducimos su velocidad de escorrentía, su capacidad de arrastre también disminuye, provocando que el suelo no se mueva y por lo tanto haya una mayor infiltración (Wall, 2007).

A pesar de que algunos cultivos pueden crecer hasta su madurez en soluciones de nutrimentos, la mayoría de las plantas terrestres se establecen y fructifican cultivadas sobre el suelo. Generalmente el suelo no provee todas las condiciones necesarias para el óptimo desarrollo de los cultivos y es necesario realizar aportes de fertilizantes que permitan mejorar la posibilidad de obtener altos rendimientos. La deficiencia de nutrimentos esenciales o la presencia de éstos en cantidades limitadas, reduce la masa de raíces y tallos producidos por los cultivos durante su desarrollo. El efecto de los nutrimentos, tanto en el crecimiento vegetativo como reproductivo de las plantas, y particularmente del nitrógeno “N” es mayor a medida que concentraciones apropiadas de éstos sean alcanzables por las raíces del cultivo (Norman et al, 2003).

4.- METODOLOGÍA

Los experimentos se realizaron en distintas parcelas de mostrativas del estado de Chiapas con dos experimentos, el primero en el 2012 y el segundo en el 2014 en sistema de riego y temporal.

1.- Rancho "El Aguacate", cuyas coordenadas se encuentran; 16° 29´ 37.95''N, 92° 59´ 57.46''W. Ubicado en el ejido Ignacio Allende, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

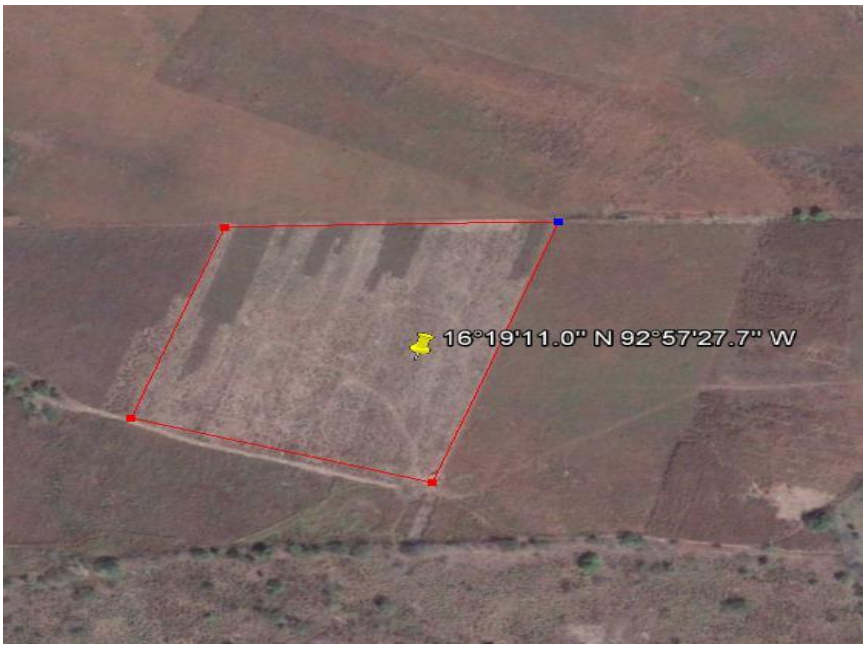
2.- Rancho "El Pozo", cuyas coordenadas se encuentran; 16° 32´ 4.5'' N, 92° 59´ 53.5''W. Ubicado en el ejido Ignacio Allende, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

3.- Rancho “El Nochí” cuyas coordenadas se encuentran; 16° 25' 45.4"N, 92° 41´ 56.6´´W. Ubicado en el ejido Vicente Guerrero, municipio de Venustiano Carranza, Chiapas.

4.- rancho “San Clemente”, cuyas coordenadas se encuentran; 16°41´02.1´´N, 92° 57´ 06.5´´W. Ubicado en el ejido Nucatilí, municipio de Chiapa de Corzo, Chiapas.

5.- Rancho “El Tanque” cuyas coordenadas se encuentran; 16° 18´ 21.3''N, 92° 57´ 09.1´´W. Ubicado en el ejido Jericó, municipio de El Parral, Chiapas.

6.- Rancho, “El Llano”, cuyas coordenadas se encuentran; 16°19’11.0”N, 92° 57´ 27.7''W. Ubicado en el ejido Jericó, municipio de El Parral, Chiapas



4.1 Diseño experimental

El cultivo se realizó bajo un diseño tratamental de parcelas divididas en 3 bloques de 2 tratamientos cada uno, los tratamientos fueron; agricultura de conservación y convencional con un factor de dos niveles que fueron; con 50 % de rastrojo y sin rastrojo. Las parcelas estuvieron formadas por 18 surcos de 10 m de longitud con una separación de 80 cm. En cada surco se utilizó un policultivo es decir, la siembra de cultivos de frijol y maíz. Las mediciones de las variables de crecimiento se realizaron a los 90 días dde. Posteriormente a los 120 dde, se prosiguió a la cosecha, realizada por método manual, para obtener los datos realizamos la toma de variables. Los tratamientos cosechados fueron llevados a las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en el área del invernadero para la toma de muestras de las variables de cosecha en el estudio.

4.1.1 Trabajo de campo

La siembra de los dos experimentos del año 2012 y 2013, se realizaron en sistema de riego y temporal. Evaluando los cultivos de maíz con las agriculturas de conservación y convencional con y sin adición de rastrojo.

Fig. 21 parcelas de demostración experimental (David gonzalez)

4.2. Toma de Muestra de suelos

Muestreo del suelo para el análisis de fertilidad

El muestreo del suelo es un procedimiento para la obtención de una o más muestras representativas de un terreno.

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana **NOM-021 SEMARNAT-2000**, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis, el muestreo de suelos se lleva a cabo de la siguiente manera.

1. Subdivisión de las unidades de muestreo.

La unidad de muestreo debe ser un área donde el tipo de suelo en cuanto a textura, color, pendiente, cultivo, manejo, etc., sea aparentemente homogéneo. Muestrear de 2 a 8 hectáreas, o más si el área en cuestión es muy homogénea. Unidades de muestreo menores a dos hectáreas pueden considerarse cuando el muestreo se practica para cultivos económicamente redituables y mayores a ocho hectáreas cuando se trata de terrenos visualmente homogéneos y manejados de manera uniforme.

Fig. 22 muestreo de suelo (David gonzalez)

2. Ubicación de los sitios de muestreo.

Existen varios procedimientos para definir el sitio de colecta de la muestra, siendo el más práctico el muestreo en zig-zag, a lo largo de una línea dentro de la unidad de muestreo.

Fig. 23 Ubicación de los sitios de muestreo (David gonzalez)

3. Establecimiento de la profundidad del muestreo.

Cuando el muestreo es para evaluar la fertilidad de los suelos se debe hacer un muestreo a la profundidad de máxima exploración radical del cultivo en cuestión. Generalmente, el muestreo se recomienda realizarlo a una profundidad de 0-30 cm.

Fig. 24 Establecimiento de la profundidad del muestreo (David gonzalez)

4. Generación de la muestra compuesta.

La homogeneización de las submuestras debe realizarse dentro de una tina ó un plástico extendido en el suelo (20 – 30 kg), evitando la contaminación con otros materiales o suelo. Después del mezclado de las muestras se forma un circulo, el que se divide en cuatro partes iguales, de las cuales se desechan dos cuartos opuestos y con los dos restantes se repite el proceso de mezclado indicado anteriormente.

La operación anterior de mezclado, formación del círculo de suelo, división en cuatro partes y desecho de dos, se repite tantas veces como sea necesario, hasta que la muestra final tenga un peso de 1.5 kg.

La muestra compuesta se coloca dentro de una bolsa plástica y se incluye la siguiente información: nombre del productor o interesado, clave de identificación del lugar donde fue colectada la muestra, nombre del cultivo establecido o con qué fines se realiza el muestreo, identificación propia de la muestra (profundidad de muestreo) y fecha de colecta de la prueba.

Fig. 25 Generación de la muestra compuesta (David gonzalez)

5.- RESULTADOS

De acuerdo a los datos obtenidos en la toma de muestra de los suelos, se corrieron en el programa Statgraphic Centurion, el cual nos arrojó la estadística necesaria para comparar los diferentes tratamientos como; El aguacate, El nochi, Manguila, Suelo negro, El llano y El tanque. en los dos años 2012 y 2014 respectivamente.

5.1.- Estadística de análisis de suelo

5.1.1.- Variable de materia orgánica del año 2012 y 2014

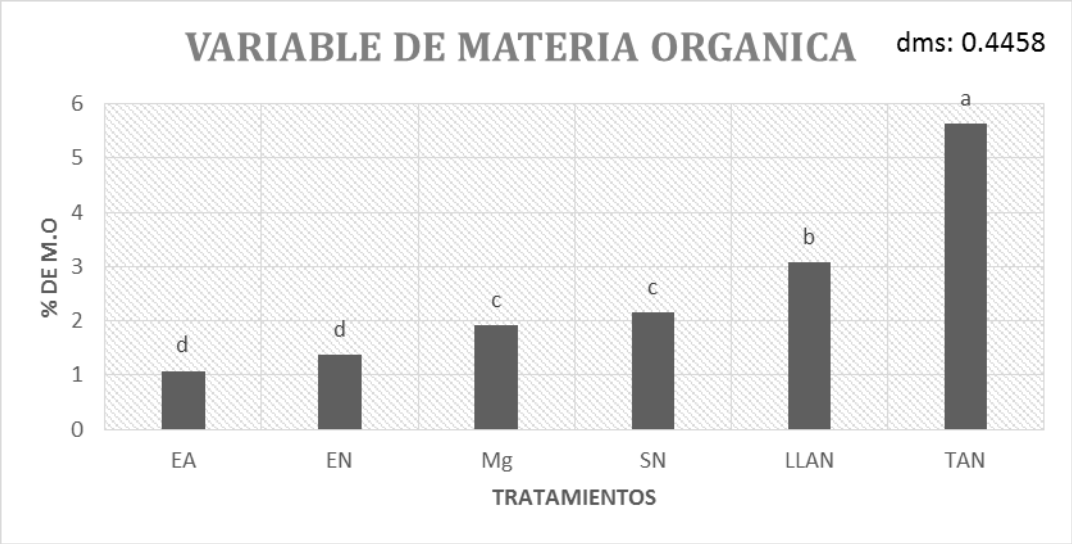


Fig.26 Variable de materia orgánica de suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la Figura 26. Se observó diferencias significativas en los tratamientos, sin embargo en el experimento TAN tuvo un incremento del 19.1 % respecto a los demás tratamientos.

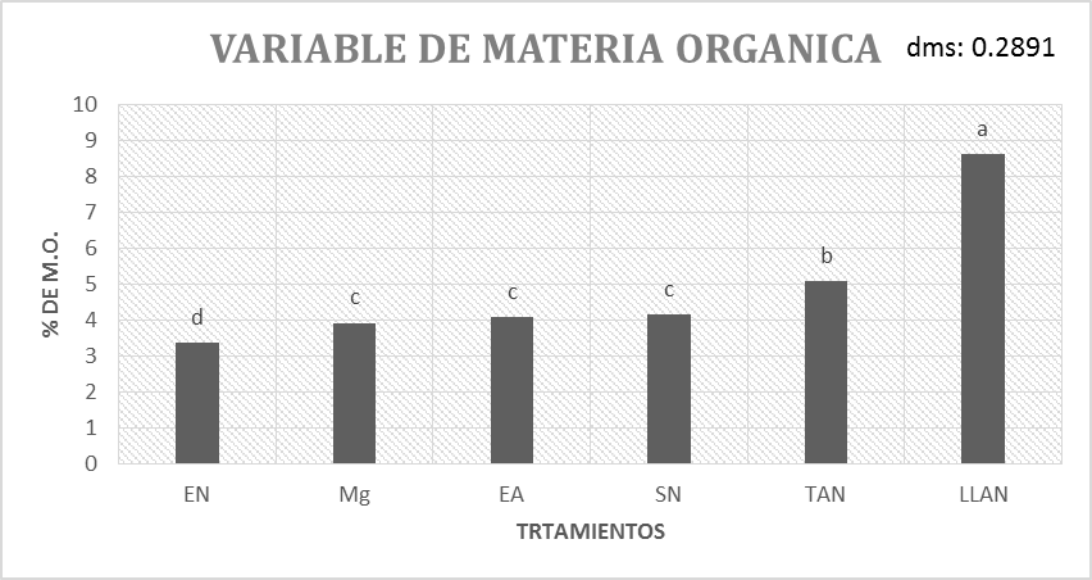


Fig.27 Variable de materia orgánica de suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la Figura 27. Se observó diferencias significativas en los tratamientos, sin embargo en el experimento LLAN tuvo un incremento del 39 % respecto a los demás tratamientos.

En los tratamientos del año 2012, se observó que no tuvo incremento en los diferentes tratamientos, con respecto al año 2014, el cual el porcentaje fue mayor y se observó variaciones entre los tratamientos, (Alvarez et al, 2006) menciona que La descomposición de la materia orgánica es un proceso biológico que ocurre naturalmente. Su velocidad es determinada por tres factores principales: la composición de los organismos del suelo, el entorno físico (oxígeno, humedad y temperatura) y la calidad de la materia orgánica.

5.1.2. Variable de Nitrógeno del 2012 y 2014

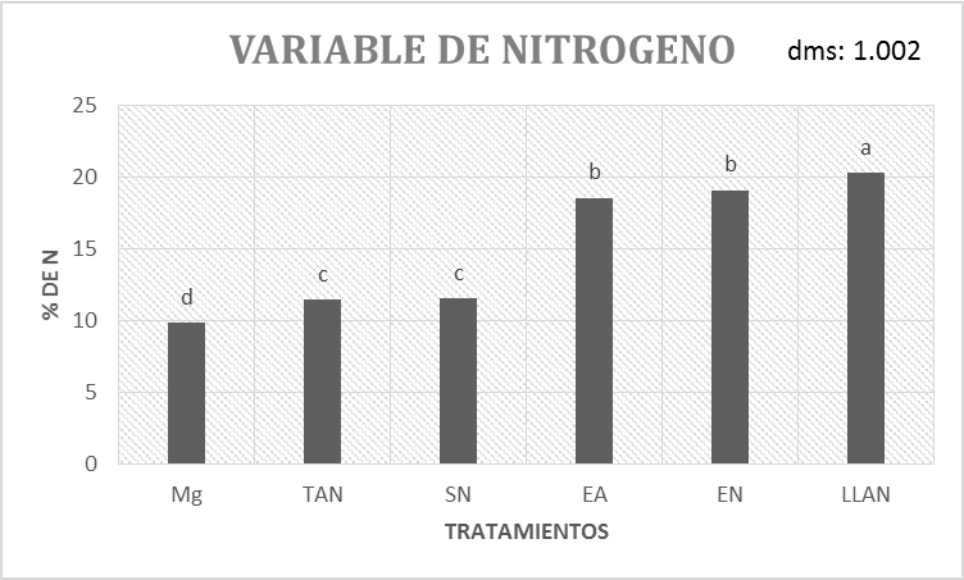


Fig.28 Variable de nitrógeno de suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 28. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que los experimentos LLAN, EN y EA obtuvieron un incremento del 48.4 % con respecto a los demás tratamientos.

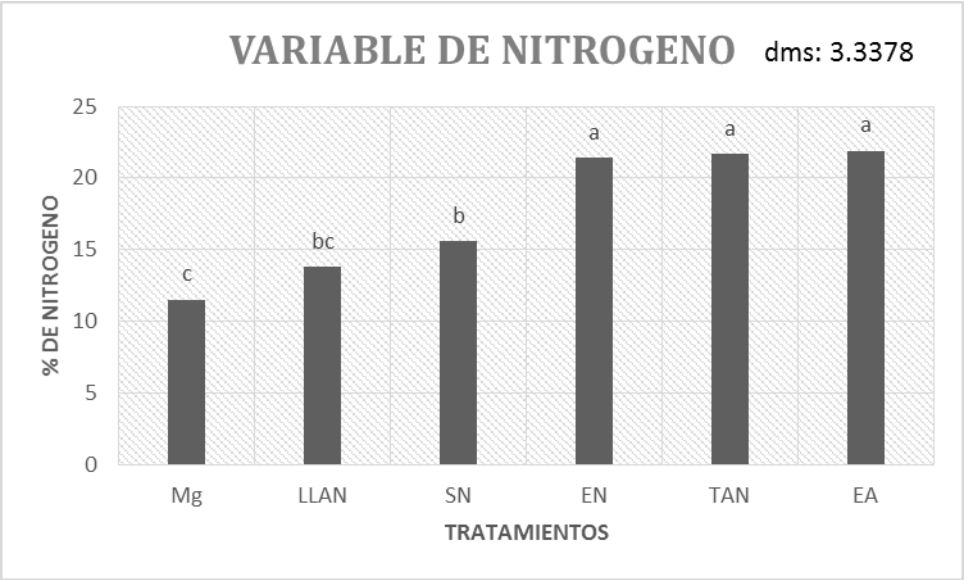


Fig.29 Variable de nitrógeno de suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 29. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que los experimentos LLAN, EN y EA obtuvieron un incremento del 52.6 % con respecto a los demás tratamientos

De acuerdo en los resultados obtenidos de los dos experimentos realizados, se observó un incremento en el porcentaje de nitrógeno en los tres primeros tratamientos del año 2014, La dinámica de este elemento en la biosfera comprende principalmente la fijación de nitrógeno (N2), la mineralización, la nitrificación, la desnitrificación (Hayatsu et al., 2008).

5.1.3 Variable de Fosforo del año 2012 y 2014

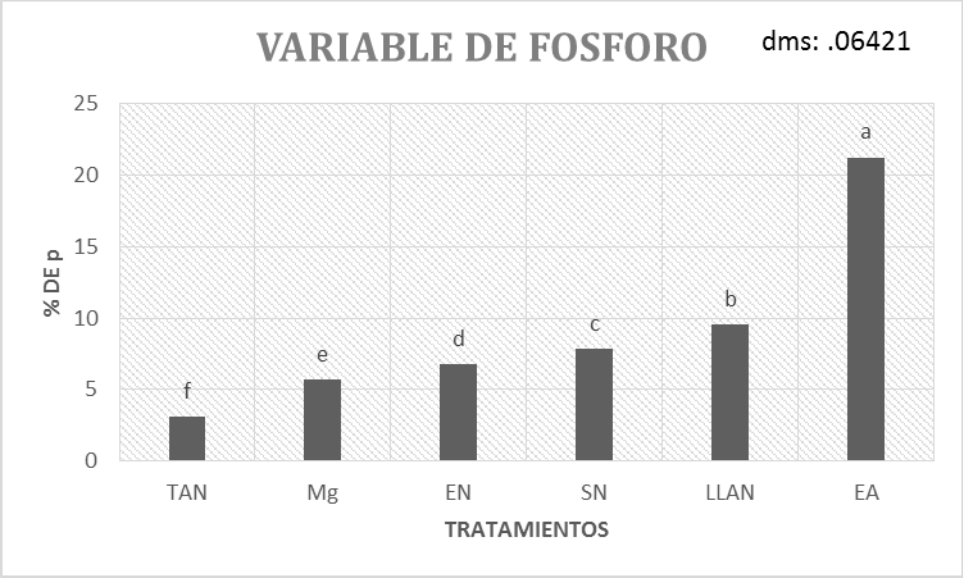


Fig.30 Variable de fosforo en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 30. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento EA tuvo un incremento de 14.6 % con respecto a los demás tratamientos.

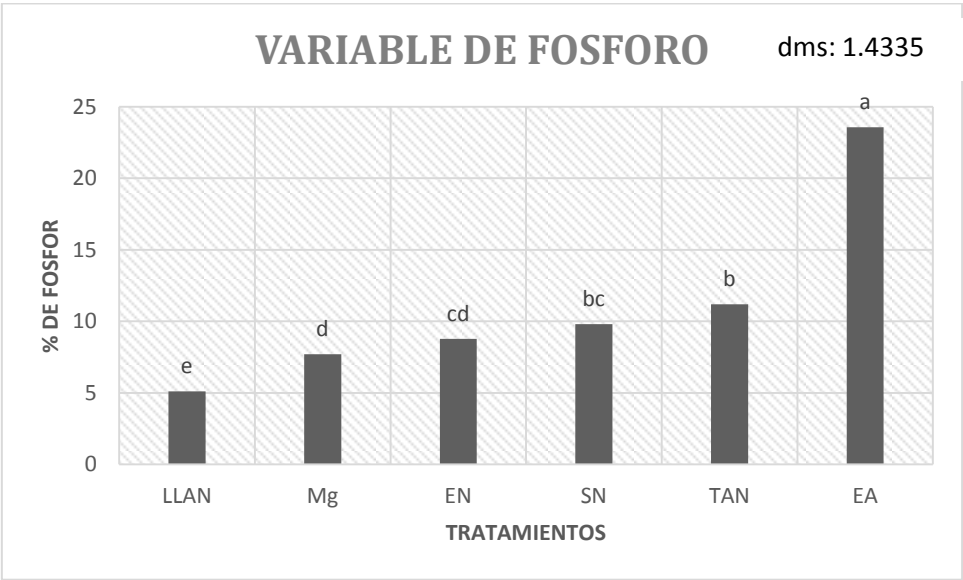


Fig.31 Variable de fosforo en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 31. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento EA tuvo un incremento de 21.6 % con respecto a los demás tratamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos respecto a la toma de muestra de los dos años se observó un mayor porcentaje del incremento en el tratamiento EA, de concentración de fosforo en el suelo, (Turrión et al, 2007) mencionan que la importante interacción de los fosfatos aportados por la fuente de fósforo con la fase sólida del suelo, hace que el aprovechamiento instantáneo del P aplicado sea realmente escaso.

5.1.4 Variable de Potasio del año 2012 y 2014

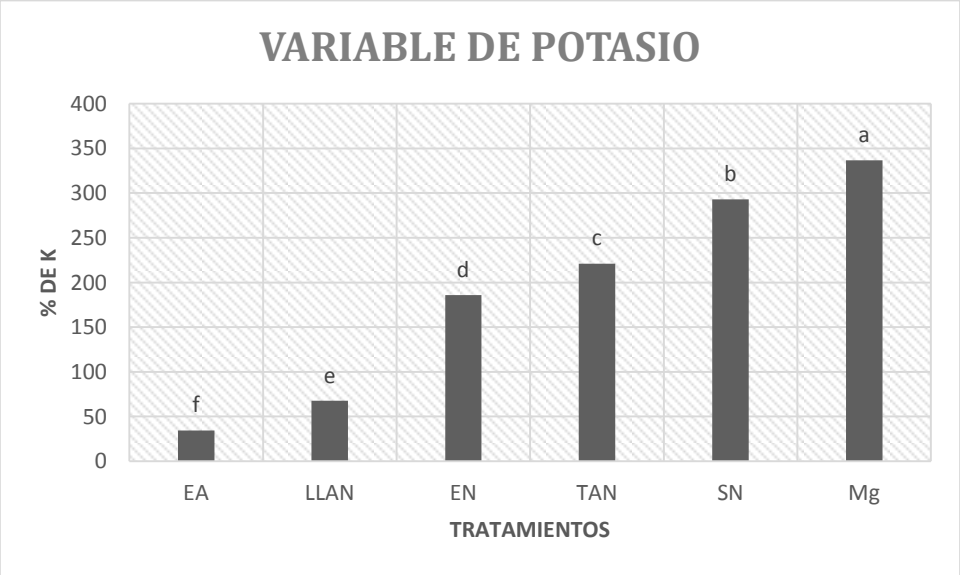


Fig.32 Variable de potasio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 32. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento Mg tuvo un incremento de 10.1 % con respecto a los demás tratamientos.

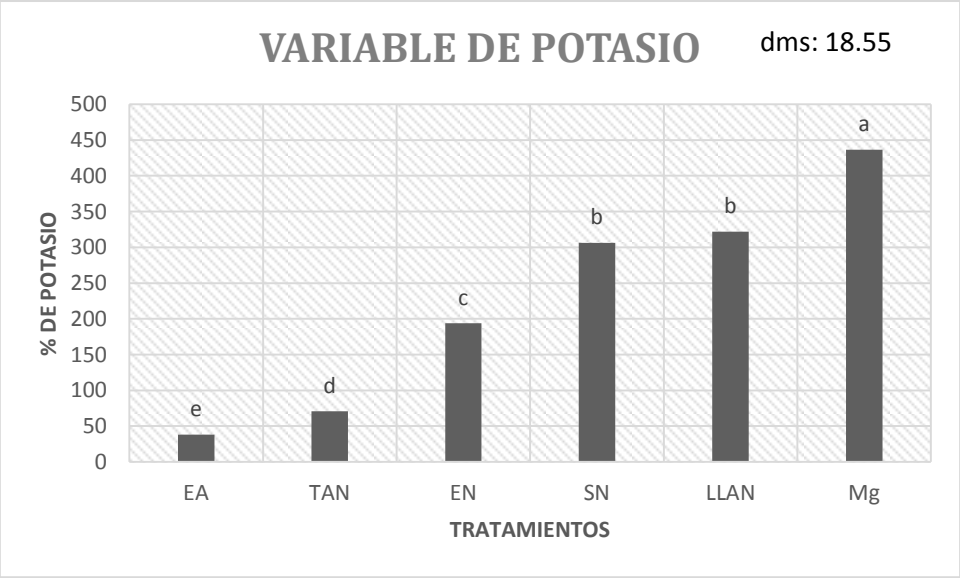


Fig.33 Variable de potasio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 33. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento Mg tuvo un incremento de 86 % con respecto a los demás tratamientos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los dos años, se observó un incremento en el año 2014, con respecto al año 2012, donde su porcentaje fue menor, (Nuñez, 2002) menciona que el potasio Es vital en la fotosíntesis; cuando hay deficiencias, ésta se reduce e incrementa la respiración, por lo que disminuye la acumulación de carbohidratos, como consecuencia adversa en el crecimiento y producción de la planta. El potasio está presente en todo el tejido vegetal; es un componente importante de los suelos fértiles.

5.1.5 Variable de Calcio del año 2012 y 2014

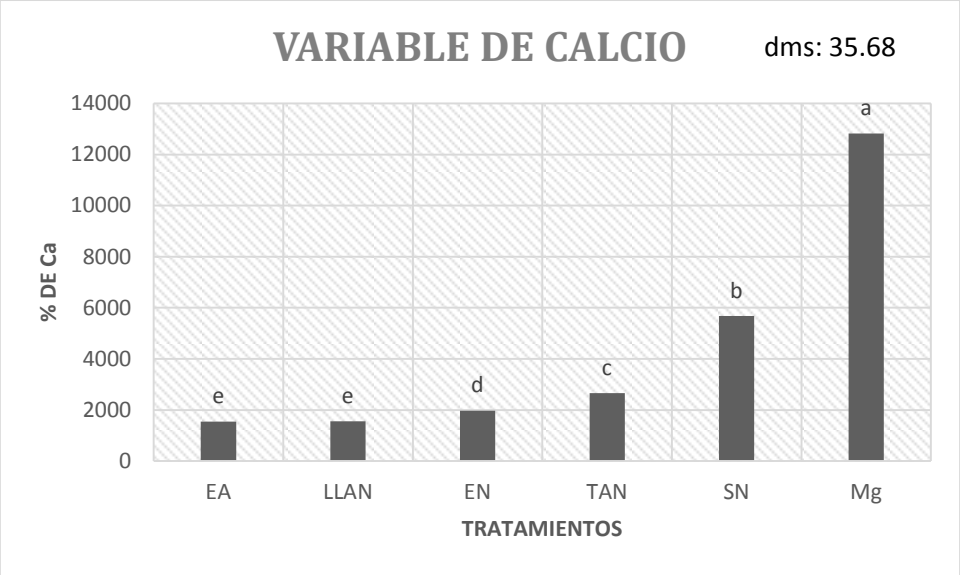


Fig.34 Variable de calcio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 34. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento Mg tuvo un incremento de 12 % con respecto a los demás tratamientos.

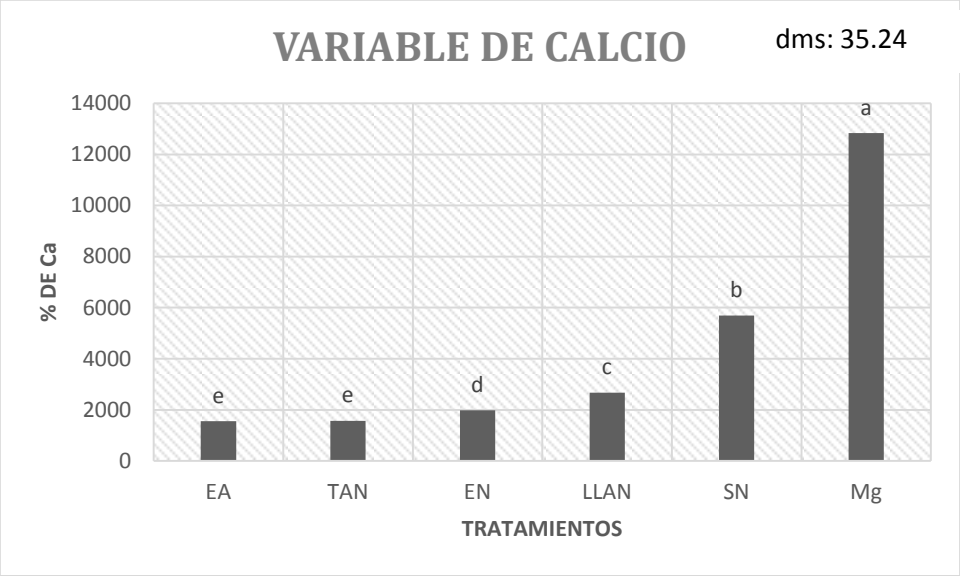


Fig.35 Variable de calcio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 35. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento Mg tuvo un incremento de 12 % con respecto a los demás tratamientos.

Los resultados entre si no difieren entre sí, entre los dos años de toma de muestra, Cuando se agrega cal (carbonato de calcio), el Ca desplaza al hidrógeno (H) presente en la superficie de las partículas de suelo, disminuyendo la acidez, El Ca es esencial para los microorganismos que transforman los residuos de cultivos en materia orgánica, liberan nutrientes y mejoran tanto la estructura como la capacidad del suelo de almacenar agua (Fageria, 2001). Para la mayoría de las plantas la disponibilidad de Ca es adecuada cuando el suelo se ha encalado para corregir problemas de acidez. Si bien los suelos ácidos tienen bajos contenidos de Ca.

5.1.6 Variable de Magnesio del año 2012 y 2014

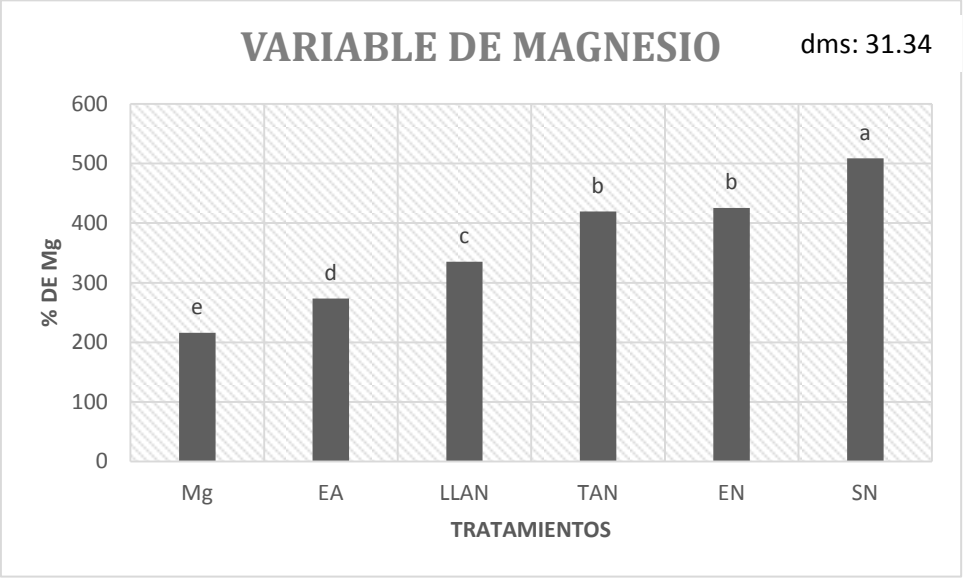


Fig.36 Variable de magnesio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 36. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento SN tuvo un incremento de 42.4 % con respecto al tratamiento de Mg.

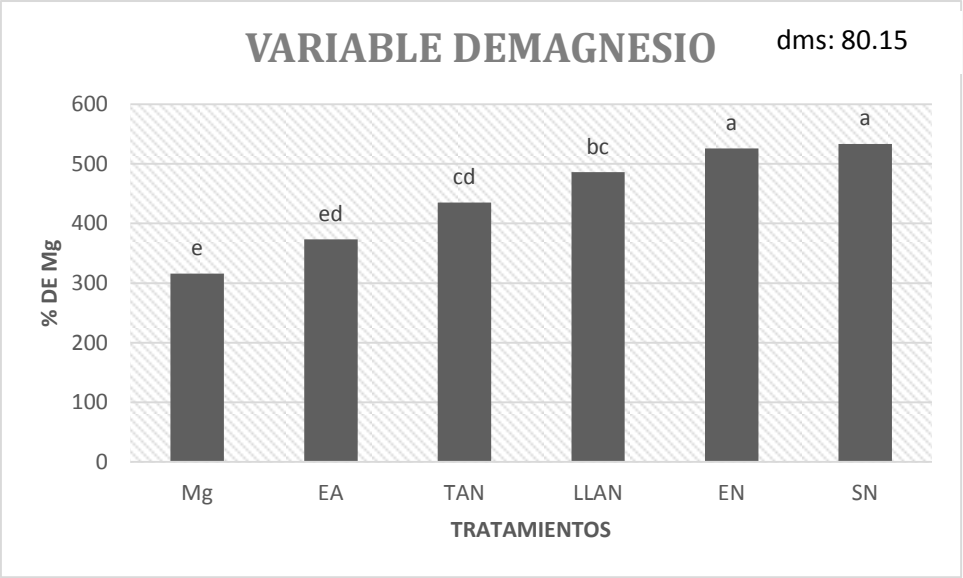


Fig.37 Variable de magnasio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 37. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento SN tuvo un incremento de 60 % con respecto al tratamiento de Mg.

En la toma de muestra de los tratamientos de los dos años 2012 y 2014, se observó un incremento de la concentración de magnesio en el año 2014, esto es debido a que el magnesio está disponible en el suelo en tres formas las cuales son; de la solución del suelo, en magnesio intercambiable y su forma no intercambiable. Cuando hablamos de un declive en su concentración es debido cuando la remoción de Mg de los suelos es mayor que la tasa de liberación de las fuentes minerales y de la adición de fertilizantes (Yang et al, 2007).

5.1.7 Variable de Sodio del año 2012 y 2014

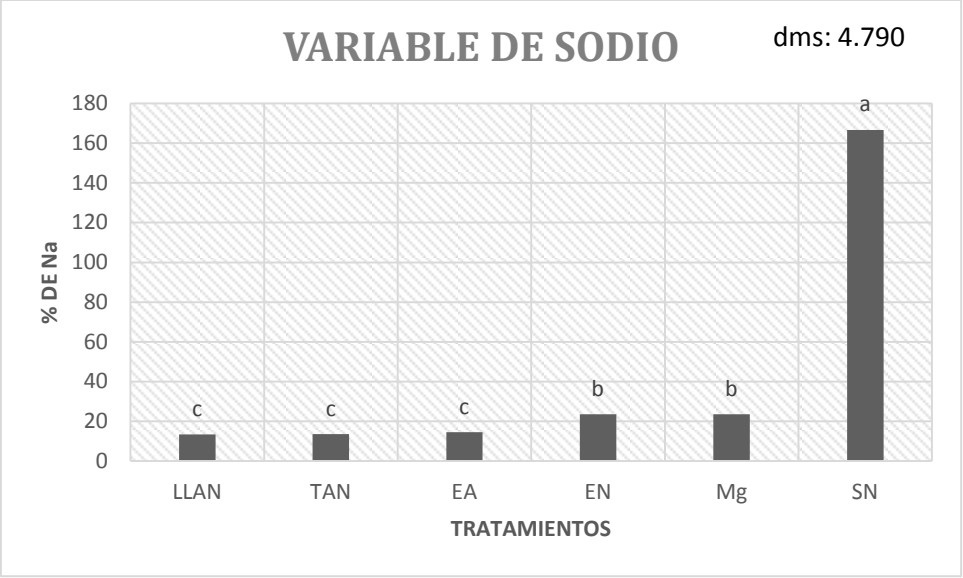


Fig.38 Variable de sodio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 38. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento SN tuvo un incremento de 8.1 % con respecto al tratamiento de LLAN.

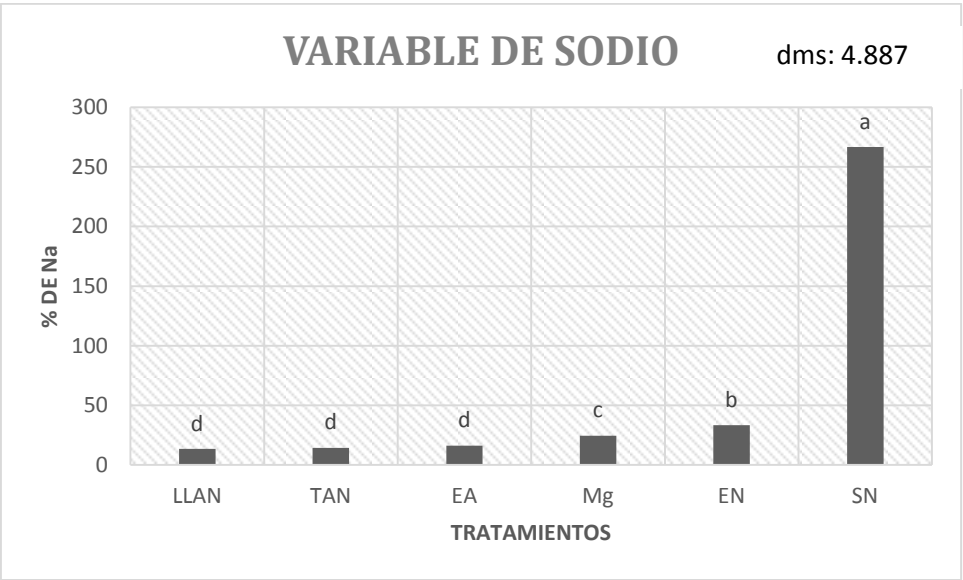


Fig.39 Variable de sodio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 39. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento SN tuvo un incremento de 4.9 % con respecto a los demás tratamientos.

De acuerdo a la toma de muestra de los tratamientos de los años 2012 y 2014, respectivamente, se observó la misma concentración de sodio en el año 2014, con del año 2012, tomando en cuenta que entre los tratamientos del mismo año si hubo diferencia significativa, (Laegdsmand et al, 2005) mencionan que la salinización y la alcalinización (sodicación o sodificación) de los suelos agrícolas son quizás los problemas más serios que enfrenta la agricultura en nuestros días. La aceleración de estos procesos se debe a la intensificación global de la desertificación, al bombeo indiscriminado del agua para riego en zonas cercanas al mar y a la introducción masiva de sistemas de riego, sin asegurar que el destino final del drenaje sea el mar. Estos procesos provocan una disminución en el desarrollo y la producción de varios cultivos.

5.1.7 Variable de Hierro del año 2012 y 2014

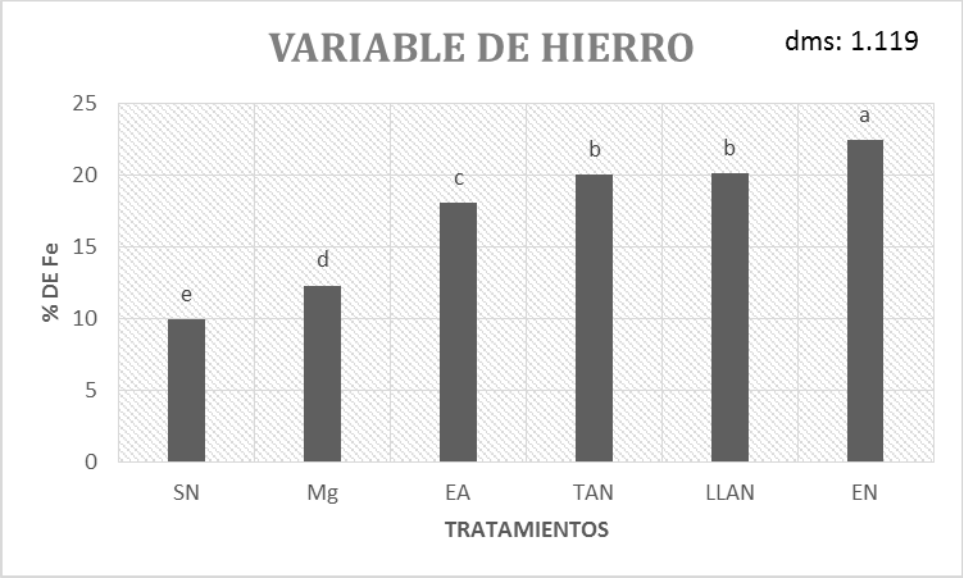


Fig.40 Variable de hierro en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 40. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento EN tuvo un incremento de 44.1 % con respecto a los demás tratamientos.

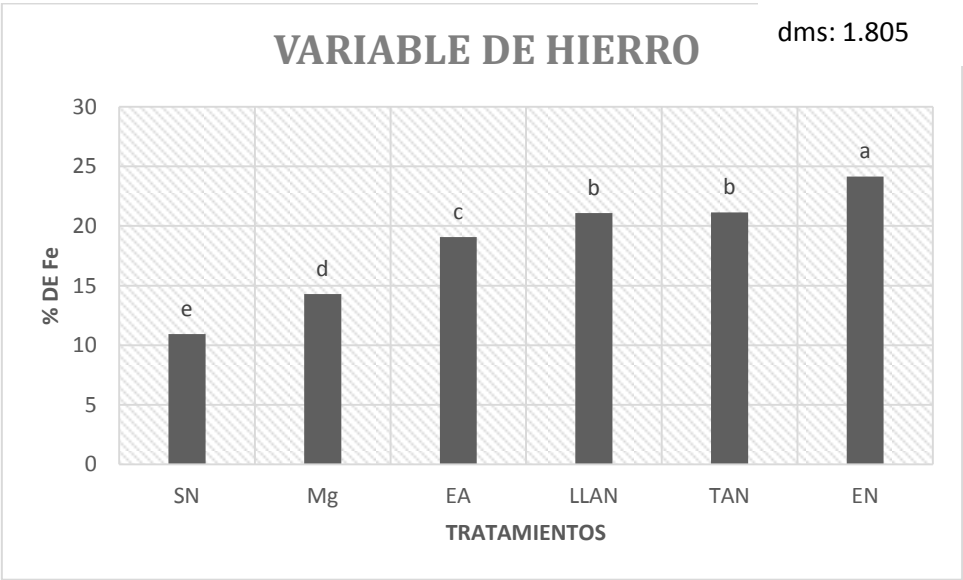


Fig.41 Variable de fosforo en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 41. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento EN tuvo un incremento de 45.2 % con respecto a los demás tratamientos.

Los resultados obtenidos en la toma de muestra de los tratamientos se observó un incremento del 45.2 % del año 2014, respecto al años 2012, donde su porcentaje fue menor, los suelos no suelen ser deficientes en Fe, pero si pueden serlo en forma soluble o intercambiable. Muchos suelos contienen considerables cantidades de óxidos hidratados y de sulfuros que van liberando lentamente iones solubles. Cuando se observa una deficiencia de Fe en las plantas, se observa en la clorosis que sufren las hojas, los cuales sus nervios permaneces verdes durante más tiempo, probablemente a causa de la alta concentración en ellos es más alta (Medina et al, 2004).

5.1.8 Variable de Hierro del año 2012 y 2014

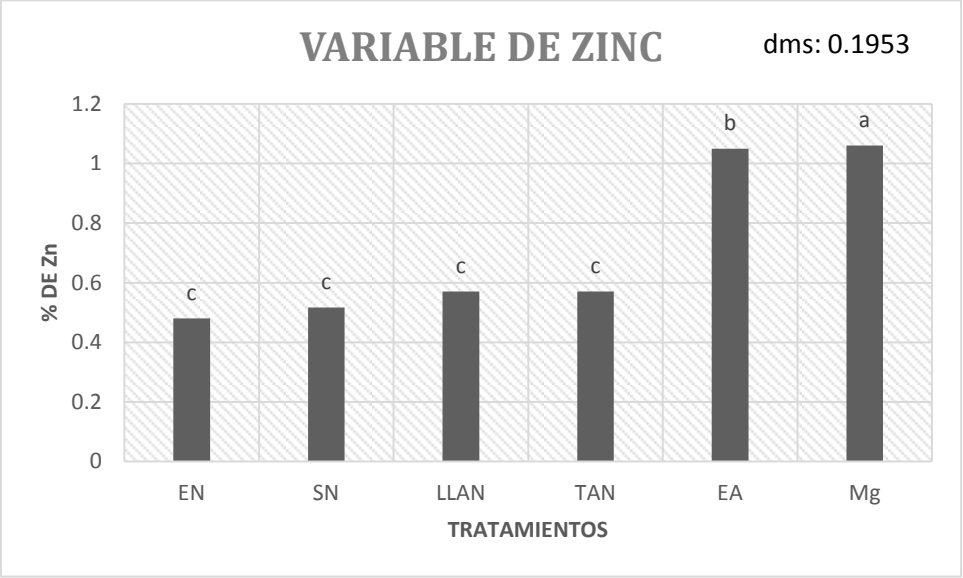


Fig.42 Variable de zinc en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura 42. Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento Mg con respecto al tratamiento EA, tuvo un incremento de 45.2 %.

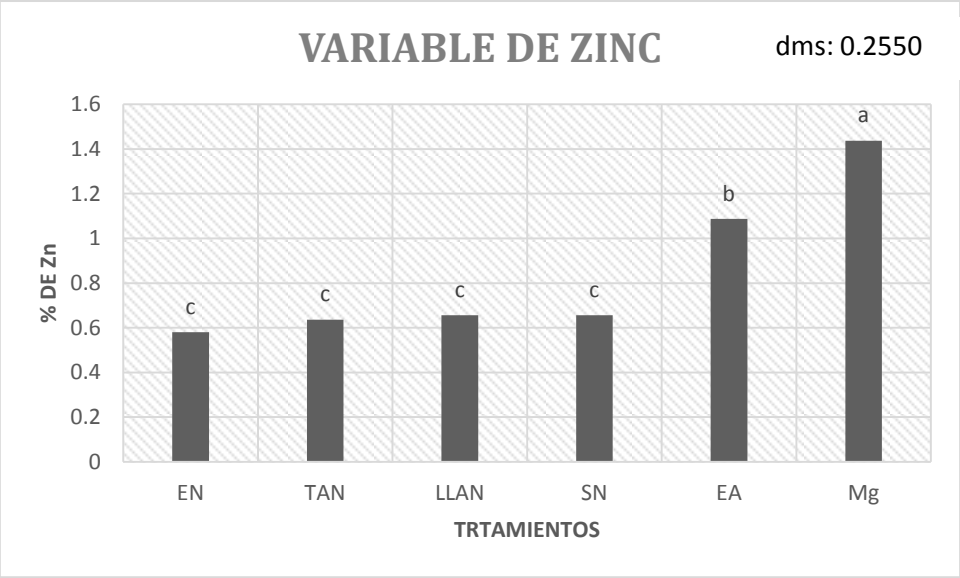


Fig.43 Variable de zinc en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura. 43 Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento Mg con respecto al tratamiento EA, tuvo un incremento de 40.3 %.

De acuerdo a los datos obtenidos en la toma de muestra del suelo, se observa que en la variable de concentración de Zn, hubo una pequeña diferencia entre los porcentajes en el año 2012 y 2014, no es significativa, pero puede señalarse que debido a ello es por en la medida que sube el pH del suelo, Las deficiencias de Zinc pueden ocurrir en suelos con alta disponibilidad de fósforo. Esto no es común en terrenos de nuestro país, ya que la mayoría son también muy deficientes en fósforo. Una cantidad considerable de Zinc puede ser fijada en la fracción orgánica de suelos con alto contenido de materia orgánica, haciéndolo poco disponible a los cultivos. También puede ser inmovilizado en los cuerpos de algunos microorganismos, especialmente cuando se han agregado al suelo excrementos de animales (Boletin de agronomía, 2015).

5.1.9 Variable de Manganeso del año 2012 y 2014

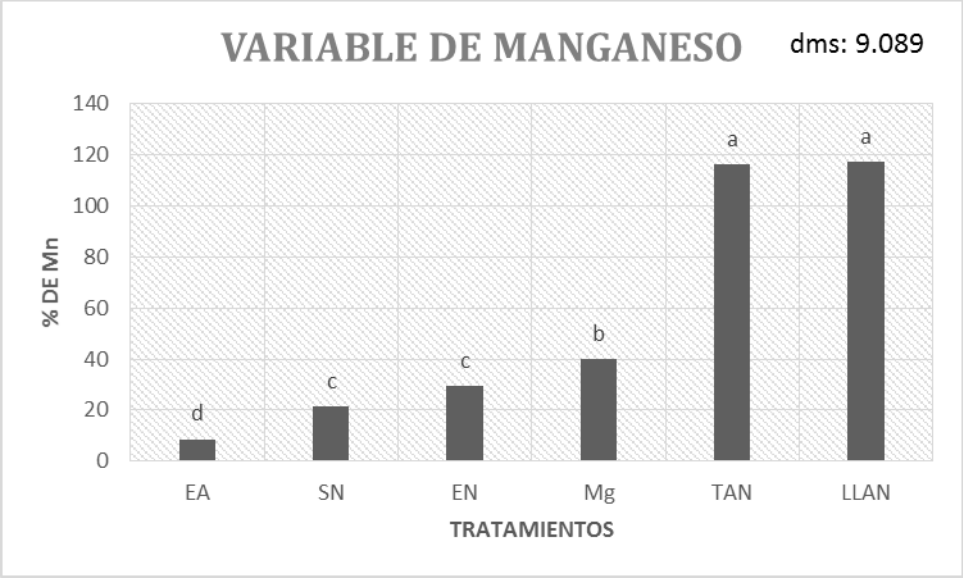


Fig.44 Variable de manganeso en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura. 44 Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento LLAN con respecto a los demás tratamientos, obteniendo 7.3 %.

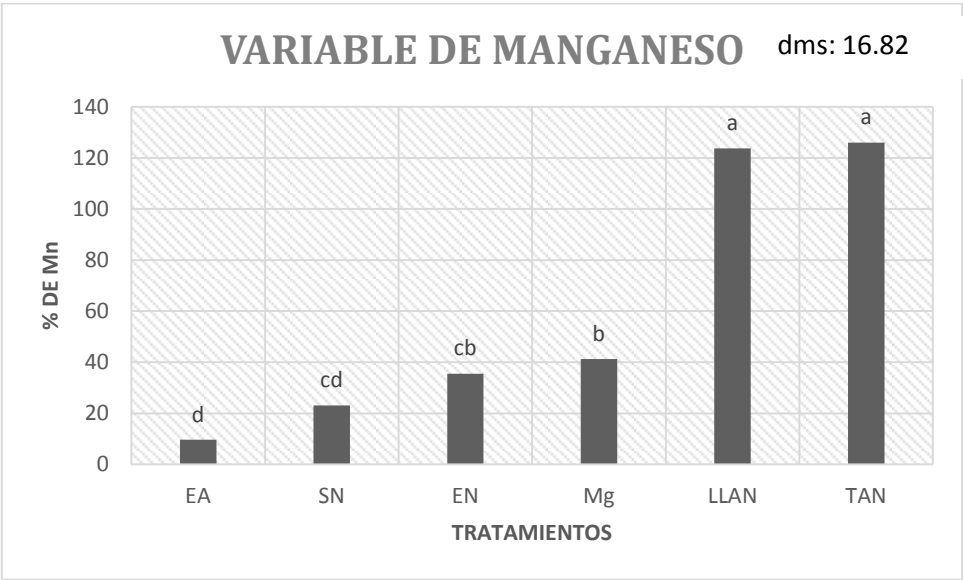


Fig.45 Variable de manganeso en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la figura. 45 Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento TAN con respecto a los demás tratamientos, obteniendo 7.6 %.

5.1.10 Variable de Cobre del año 2012 y 2014

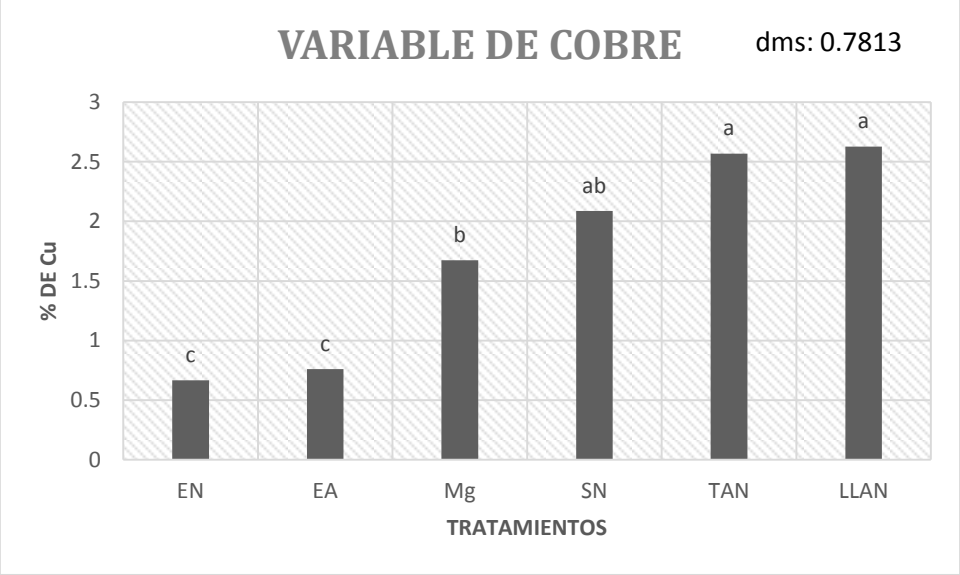


Fig.46 Variable de cobre en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la fig. 46 Se observó diferencia significativa entre los diferentes tratamientos, destacando que el experimento LLAN obtuvo un 25 % en comparación con los demás.

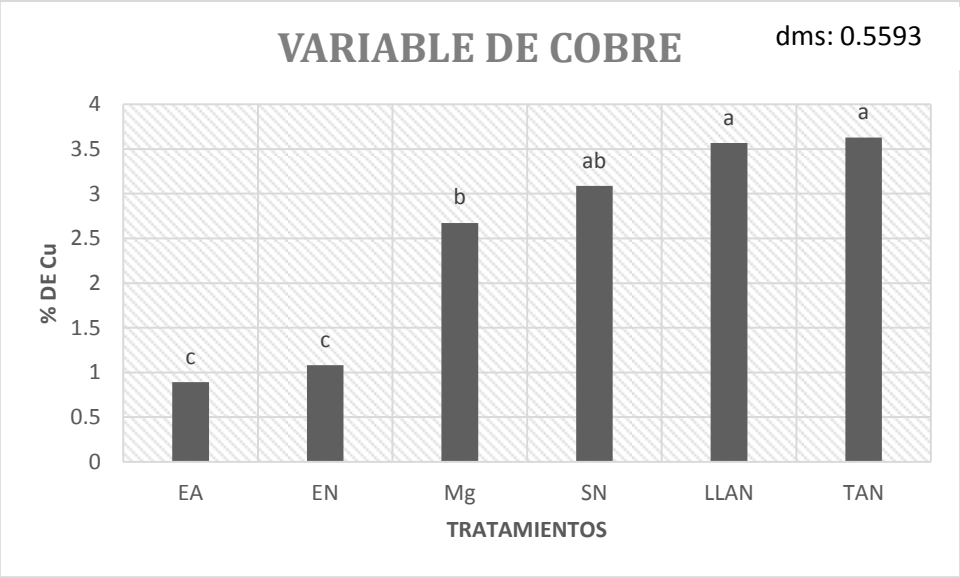


Fig.47 Variable de cobre en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la fig. 47 se observó que existe diferencia entre los tratamientos, destacando que en el tratamiento TAN obtuvo el 24. 6 % con respecto a los demás.

El cobre es un micronutriente. Esto significa que el contenido de Cu en las plantas es menor que el de otros nutrientes como el nitrógeno (N). En efecto, las plantas contienen 2,500 veces menos Cu que N y aún así el Cu es tan necesario para el crecimiento como lo es el N. Las plantas necesitan el Cu para completar su ciclo de vida, es decir para producir semillas viables. (Martinez, 2003).

5.2.1 Variable de Boro del año 2012 y 2014

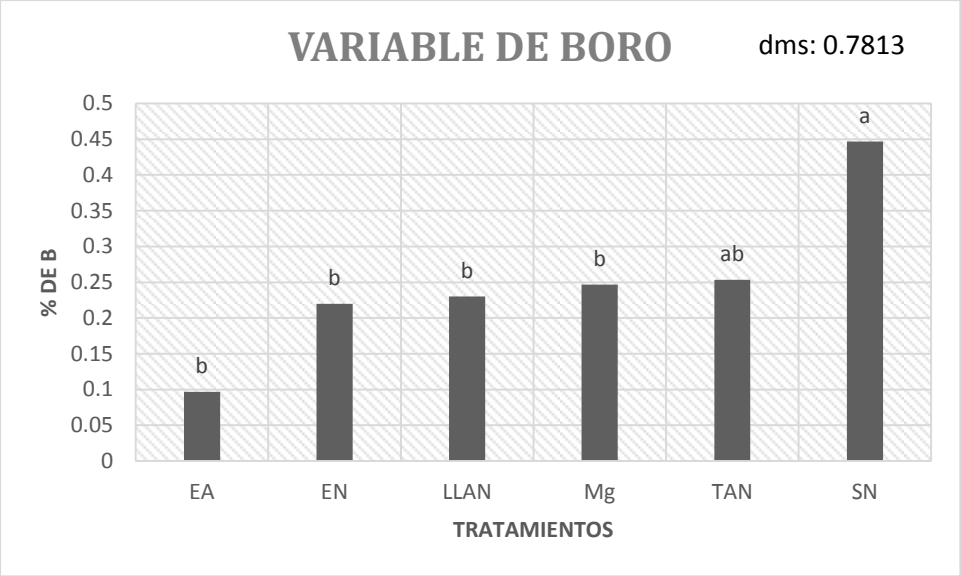


Fig.48 Variable de Boro en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la fig.48 se observó que hubo diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que en el experimento SN obtuvo un 9 % con respecto a los demás tratamientos.

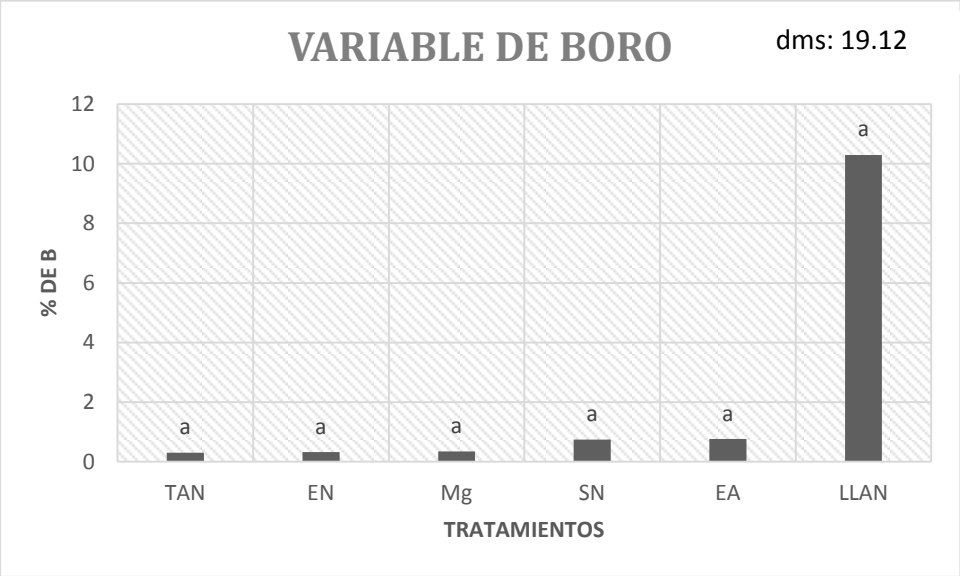


Fig.49 Variable de Boro en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la fig.49 se observó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos.

De acuerdo a los resultados encontrados de los dos años consecutivos, en el año 2014 no hubo diferencia significativa en comparación al año anterior, 2012, esto puede ser debido a la inhibición de la síntesis de ADN y ARN. La deficiencia de boro provoca una acumulación de azucares en los tejidos. La asimilabilidad del boro disminuye a medida que aumenta el pH en el suelo. Este hecho hace que los suelos calizos sean propensos a mostrar deficiencias en boro y más si existe un exceso de arcilla (Martínez, 2003).

5.2.1 Variable de Azufre del año 2012 y 2014

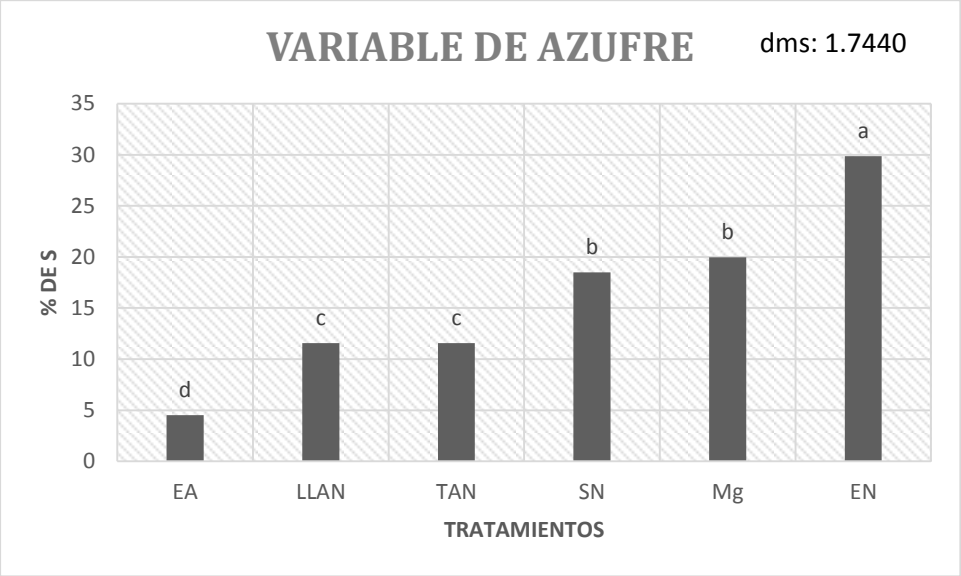


Fig. 50 Variable de Azufre en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la fig. 50 Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que en el experimento EN obtuvo 15.1 % con respecto a los demás tratamientos.

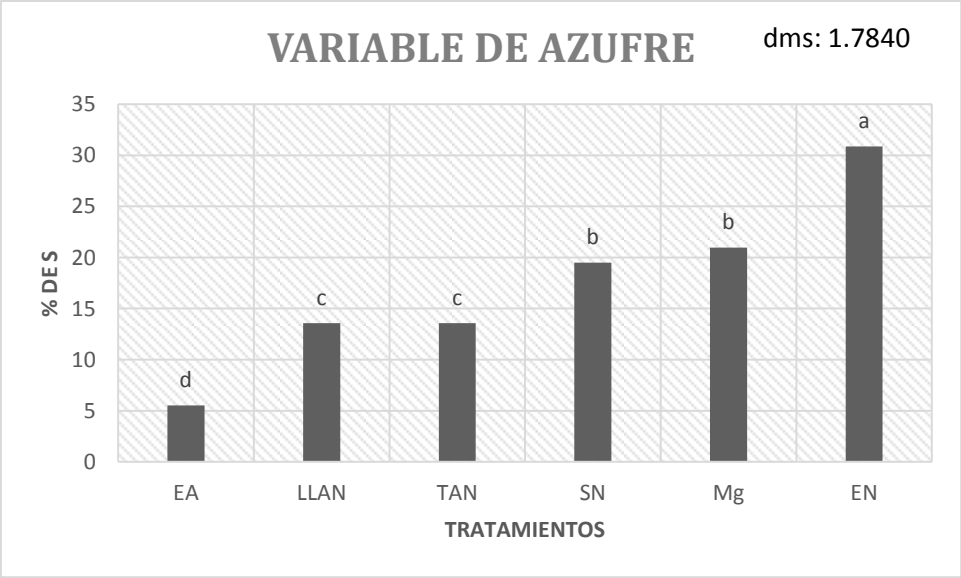


Fig.51 Variable de Azufre en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la fig. 51 Se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el experimento EN obtuvo 17.9 con respecto a los demás tratamientos.

El azufre es uno de los elementos esenciales en plantas superiores, quienes lo obtienen principalmente del suelo en forma de sulfato, aunque también son capaces de captarlo de la atmósfera, como dióxido de azufre (SO2) Sin embargo, las plantas son incapaces de usarlo en la forma iónica (sulfato) en la que es absorbido del suelo, de donde es transportado hasta las hojas y reducido a sulfito. El azufre es un elemento ubicuo y abundante en la tierra, sin embargo, su disponibilidad no es suficiente para satisfacer el crecimiento de las plantas. Las principales fuentes de azufre terrestre son los volcanes y algunas rocas; los reservorios marinos son los sedimentos oceánicos y el agua de mar, La proporción de azufre que se utiliza en la agricultura es minúscula en relación a la cantidad existente en las fuentes naturales y el generado por la actividad humana (combustibles fósiles y gases industriales). Un aporte importante de azufre a los suelos cultivables, fue la deposición de este elemento a través de las lluvias ácidas, que se generaban por la acumulación de gases azufrados en la atmósfera (Till, 2010).

6.1.- Estadística de Cationes

6.1.1.- Variable de Ca/k del año 2012 y 2014

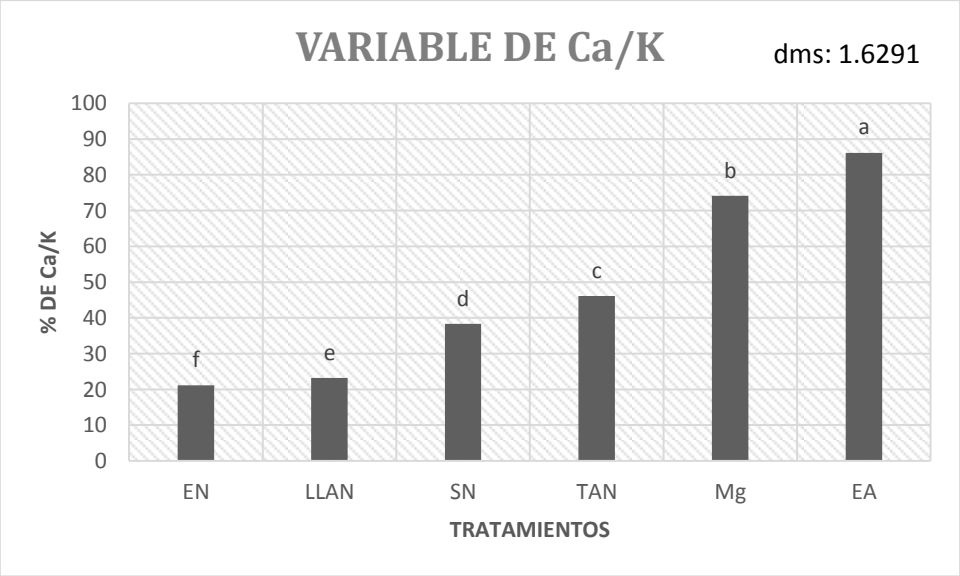


Fig. 52 Variable de Ca/K en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la fig. 52 se observó diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que en el experimento EA obtuvo el 24.5 % con respecto a los demás tratamientos.

Los contenidos de cationes en suelos naturales dependen fundamentalmente del material de origen y de los procesos de meteorización y lixiviación. Los suelos son entes activos que contienen en sus estructuras constituyentes que tienen la propiedad de retener, fijar, intercambiar y absorber una cantidad máxima de iones positivos. (Torres et al. 2012)

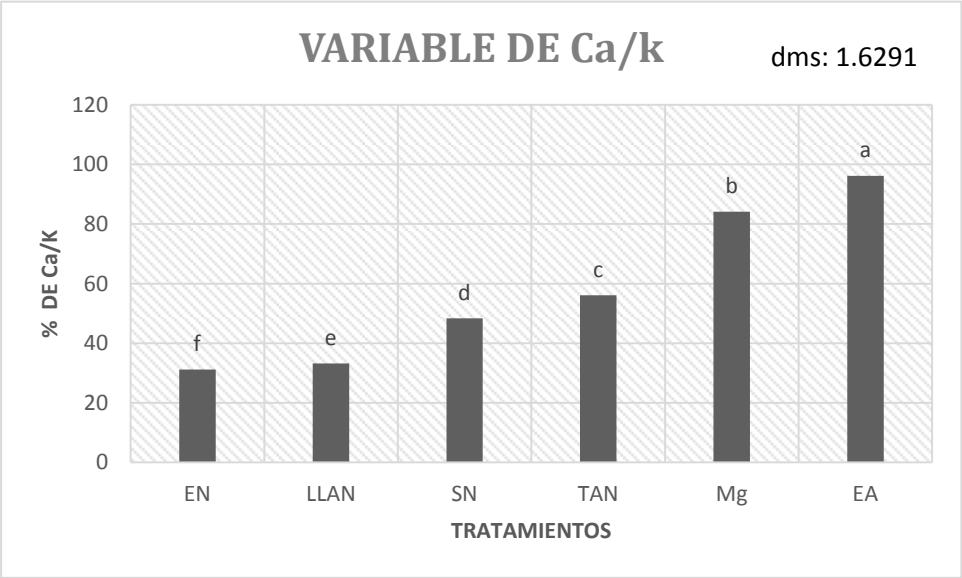


Fig. 53 Variable de Ca/K en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la fig. 53 se observó que existe diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que en el experimento EA obtuvo 32 % con respecto a los demás tratamientos.

Los contenidos de cationes en suelos naturales dependen fundamentalmente del material de origen y de los procesos de meteorización y lixiviación. Los suelos son entes activos que contienen en sus estructuras constituyentes que tienen la propiedad de retener, fijar, intercambiar y absorber una cantidad máxima de iones positivos menciona (Torres et al. 2012).

6.1.2.- Variable de Mg/k del año 2012 y 2014

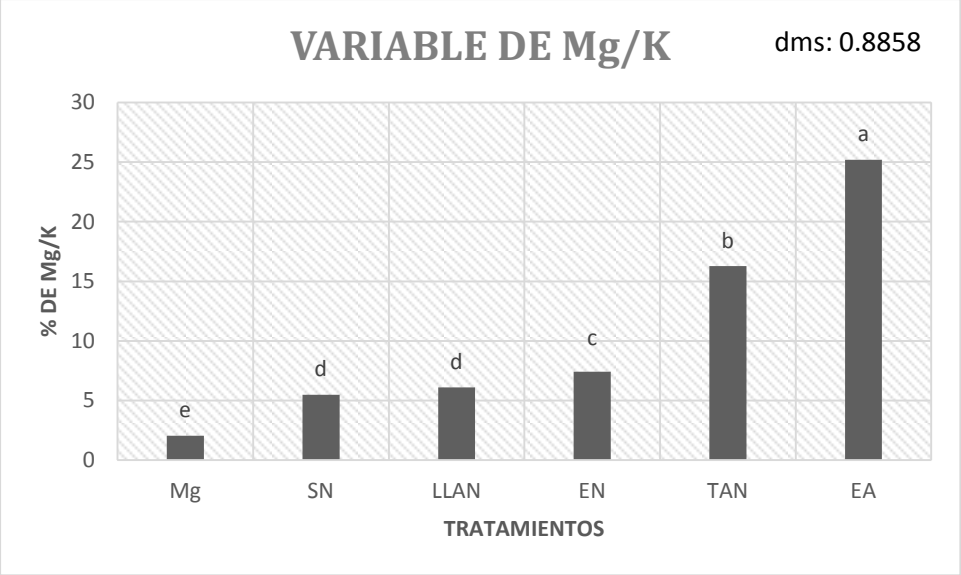


Fig. 54 Variable de Mg/K en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$).

En la fig. 54 se observó diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que en el experimento EA tuvo 8.1 % de concentración de Mg/K con respecto a los demás tratamientos.

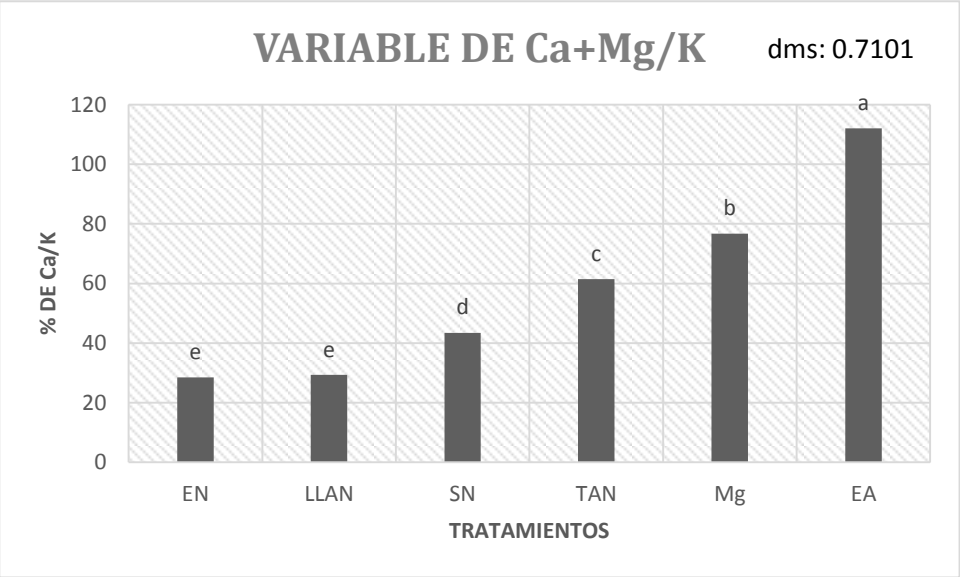


Fig. 55 Variable de Mg/K en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 55 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimento EA obtuvo 8.6 % de concentración de Mg/K con respecto a los demás tratamientos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el año 2012, el porcentaje fue menor con respecto a año 2014, donde se observó un incremento de la relación de cationes Mg/K.

La alteración de cualquier catión en el suelo, mientras los demás se mantienen constantes, tienen los siguientes efectos sobre la concentración de cationes en la hoja: aumento de Ca en el suelo, deprime en las hojas el Mg más que el K; aumentado el Mg se disminuye el Ca más que el K; y aumentado el K se puede deprimir al Ca más que el Mg o pueden decrecer ambos igualmente (Zörb, 2009).

6.1.3.- Variable de Ca+Mg/k del año 2012 y 2014

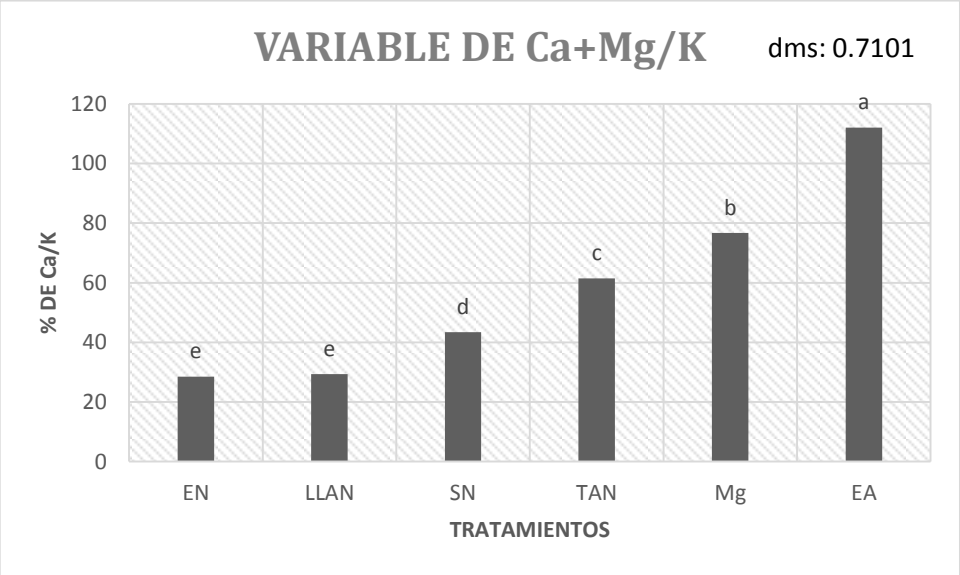


Fig. 56 Variable de Ca+Mg/K en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 56 se observó diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que en el experimento EA obtuvo 25.1 % de concentración de Ca+ Mg/K con respecto a los demás tratamientos.

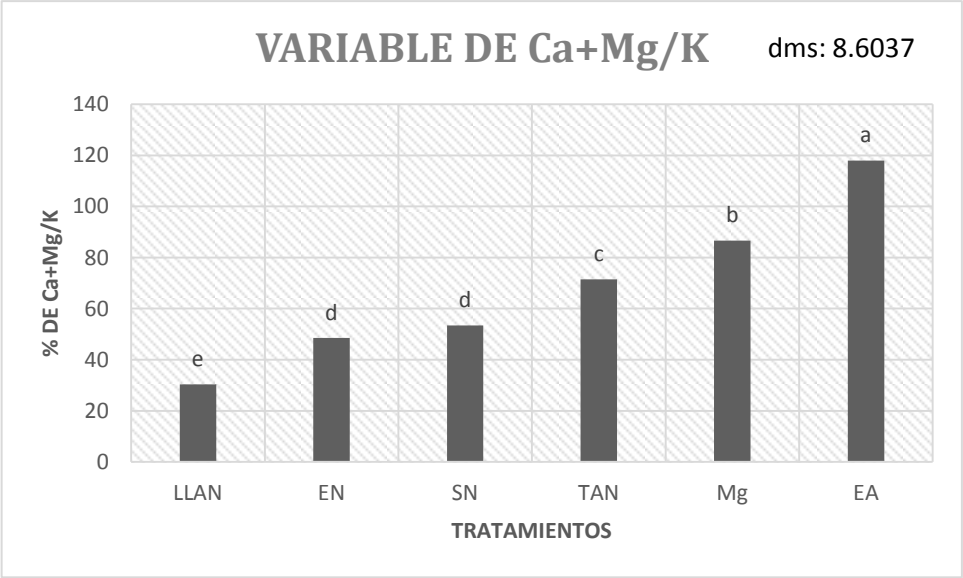


Fig. 57 Variable de Ca+Mg/K en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 57 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimento EA obtuvo 25.6 % de concentración con respecto a los demás tratamientos.

En suelos muy pobres es preciso realizar inicialmente una elevada aportación de abonos, cuyos iones son retenidos fuertemente por el complejo, para permitir que abonados de mantenimiento, más modestos, puedan actuar.

6.1.3.- Variable de Ca/Mg del año 2012 y 2014

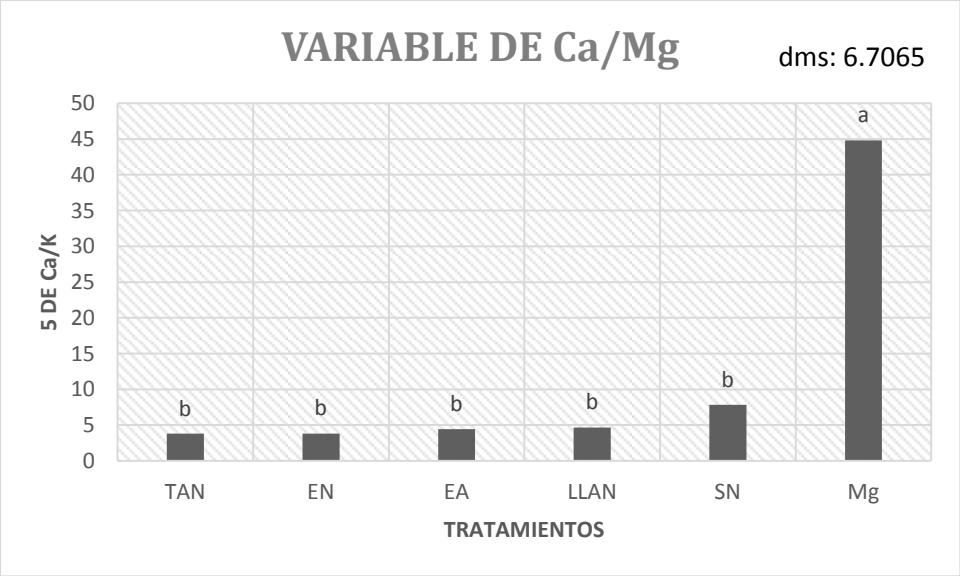


Fig. 58 Variable de Ca/Mg en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 58 se observó diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que el tratamiento MG obtuvo 7.6 % de concentración de Ca/Mg con respecto a los demás tratamientos.

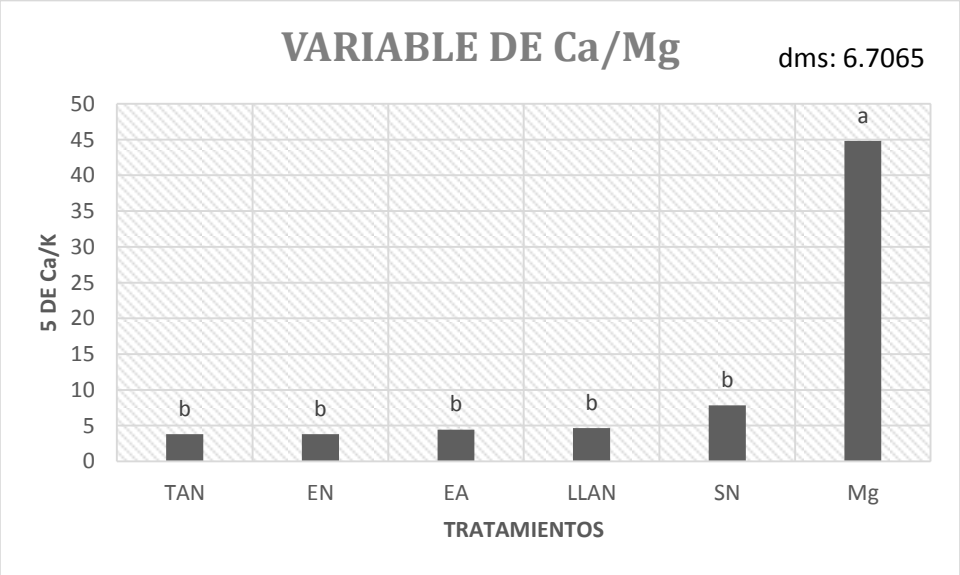


Fig. 59 Variable de Ca/Mg en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 59 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimento MG obtuvo 8.6 % de concentración de Ca/Mg con respecto a los demás tratamientos.

7.1.- Estadística de Cationes Intercambiables Basado En % De Saturación

7.1.1.- Variable de Calcio año 2012 y 2014

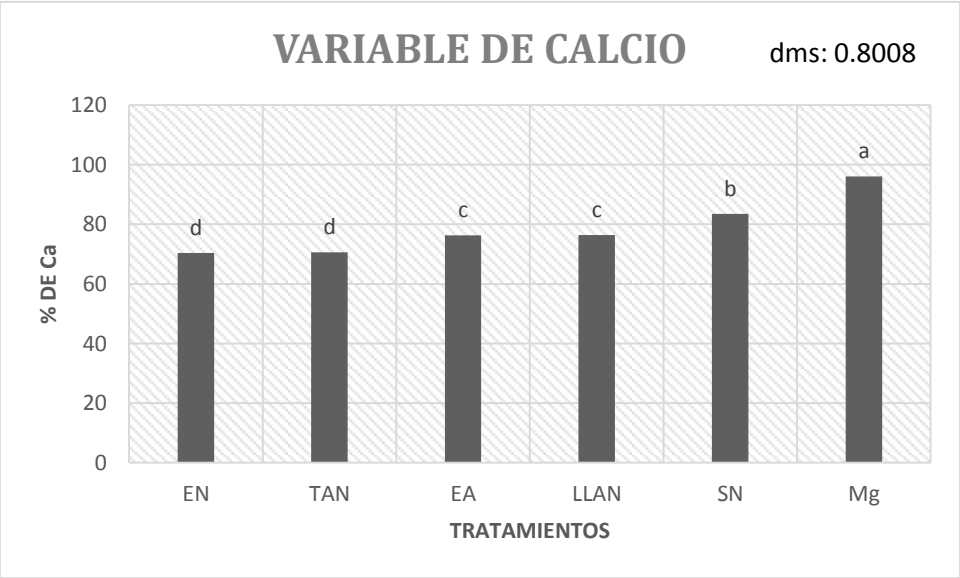


Fig. 60 Variable de Ca/Mg en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 60 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimento MG obtuvo 70.3 % de concentración de Ca con respecto a los demás tratamientos.

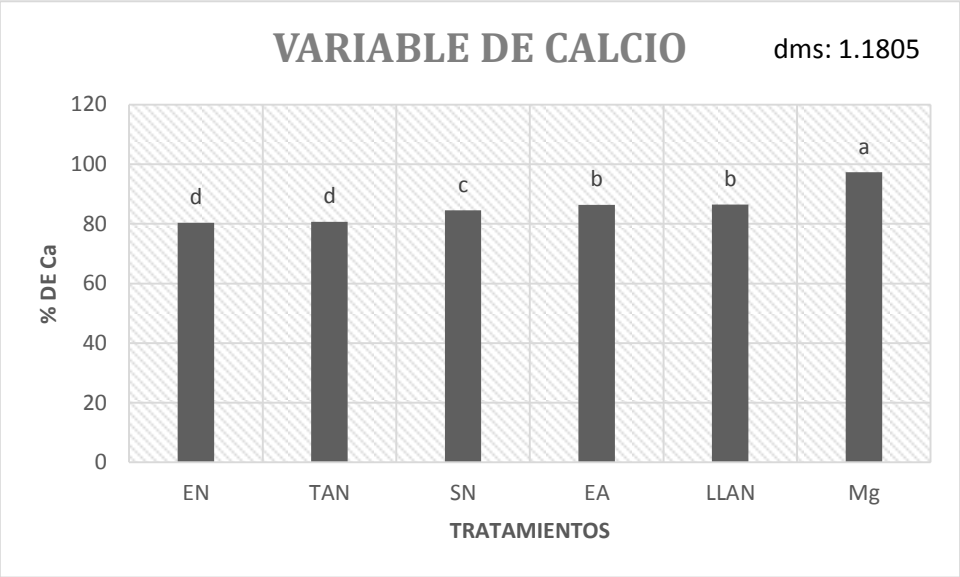


Fig. 61 Variable de Ca/Mg en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 61 se observó diferencia significativa entre los tratamientos, destacando que en el experimento MG obtuvo 82.5 % de concentración de calcio, con respecto a los demás tratamientos.

Un suelo que tiene alto contenido de arcillas puede retener más cationes intercambiables que un suelo con bajo contenido de arcillas. La CIC se incrementa también a medida que la materia orgánica se incrementa. Los cationes intercambiables predominantes en Suelos Neutros y alcalinos con el Ca, Mg, K y Na a los cuales se les denominan Bases Cambiables. (Malhi, 2000).

7.1.2.- Variable de Magnesio año 2012 y 2014

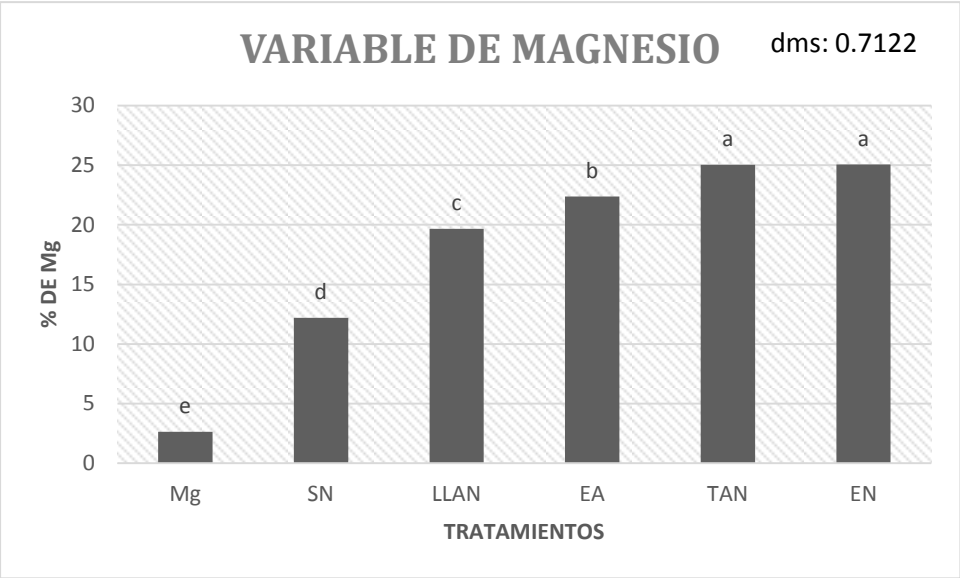


Fig. 62 Variable de Magnesio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 62 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimento EN obtuvo 10.4 % de concentración de Mg con respecto a los demás tratamientos.

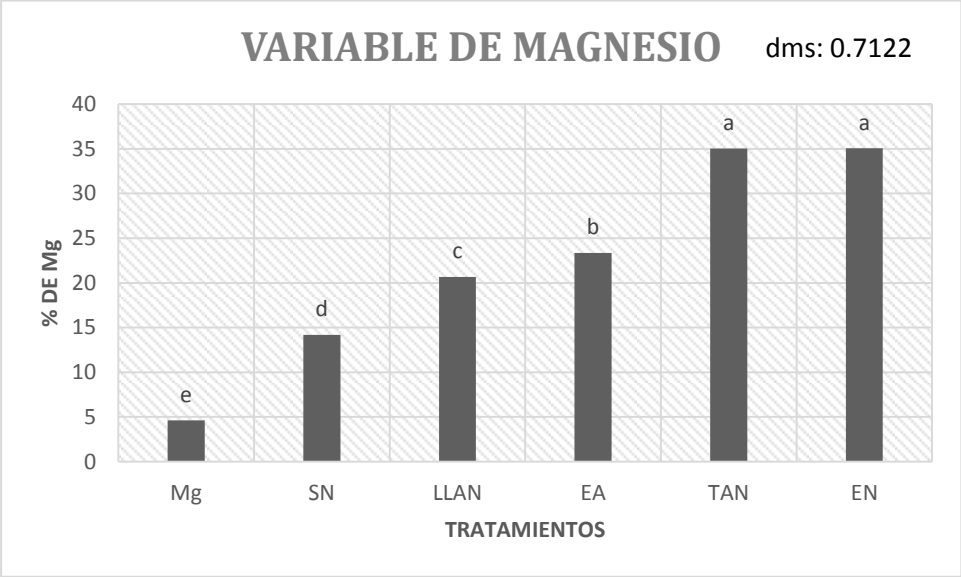


Fig. 63 Variable de Magnesio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

7.1.3- Variable de Potasio año 2012 y 2014

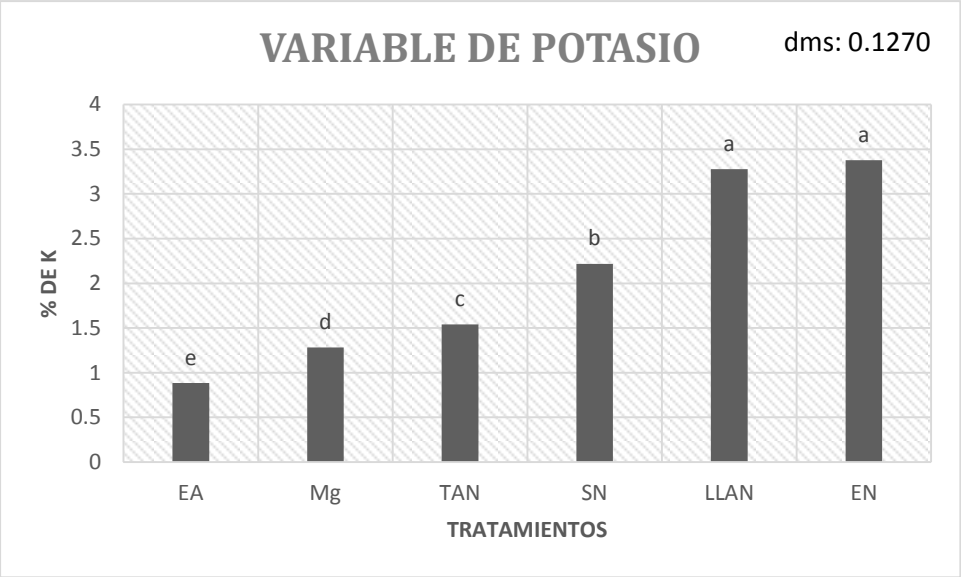


Fig. 64 Variable de Potasio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 64 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimento EN obtuvo 26.1 % de concentración de Potasio con respecto a los demás tratamientos.

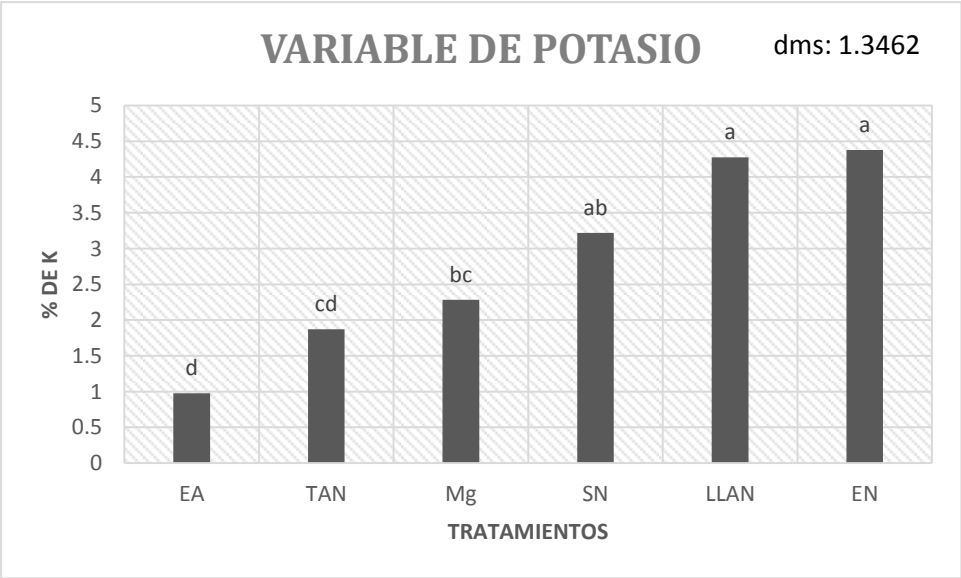


Fig. 65 Variable de Potasio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 65 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimento EN obtuvo 22.3 % de concentración de Potasio con respecto a los demás tratamientos.

7.1.4- Variable de Sodio año 2012 y 2014

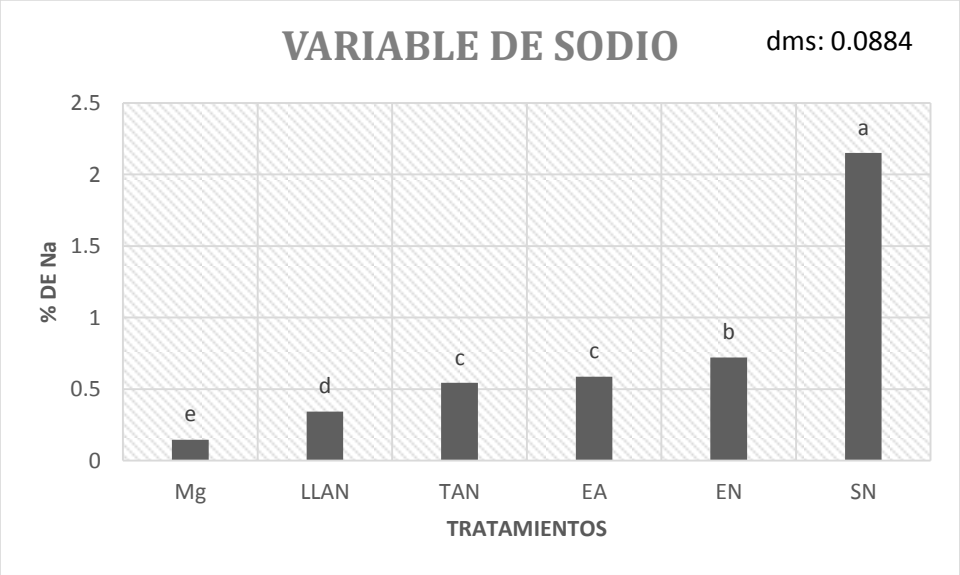


Fig. 66 Variable de Sodio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 66 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que el experimento SN obtuvo 6.8 % de concentración de Sodio con respecto a los demás tratamientos.

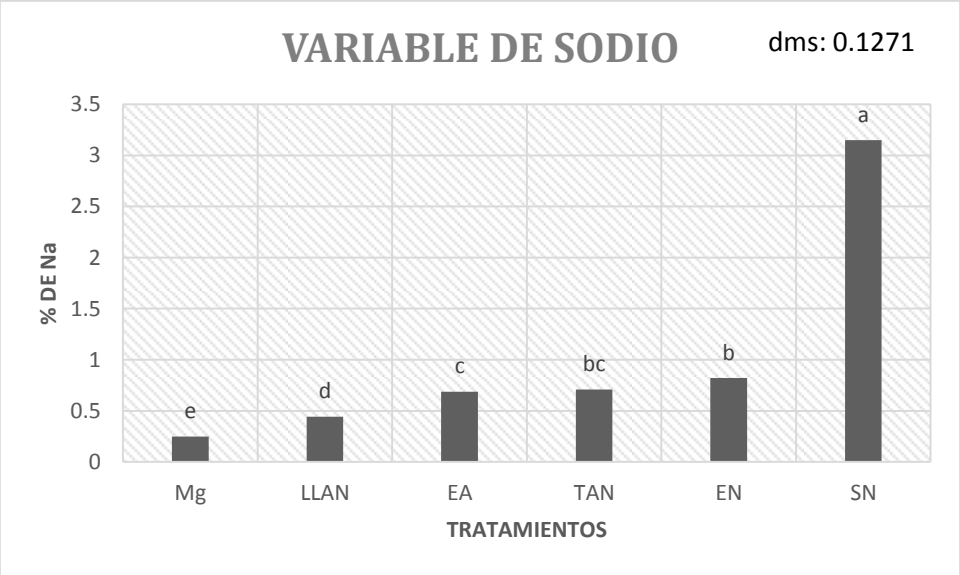


Fig. 67 Variable de Sodio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 67 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que el experimento SN obtuvo 7.8 % de concentración de Sodio con respecto a los demás tratamientos.

8.1.- Estadística de Capacidad De Intercambio Catiónico meq/100g

8.1.1.- Variable de Calcio año 2012 y 2014

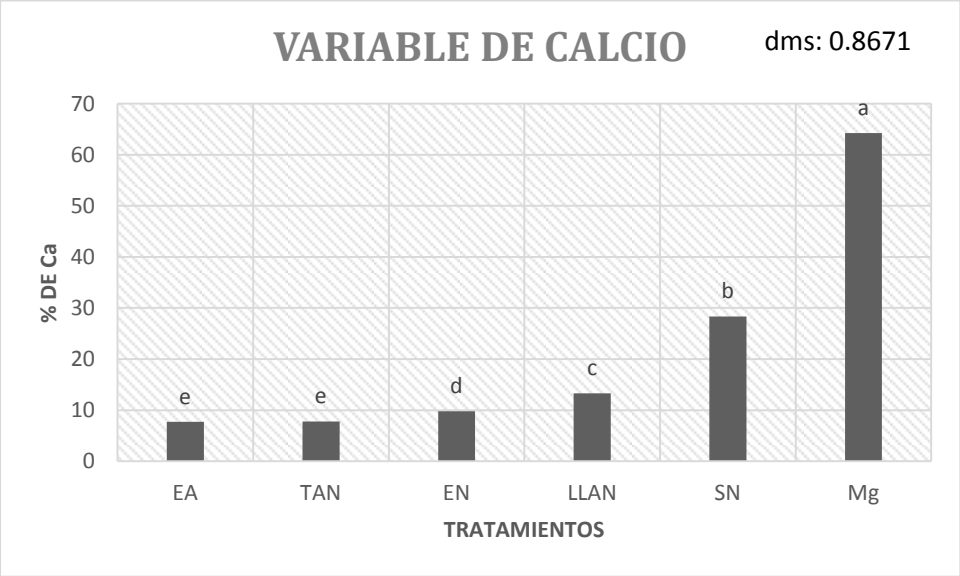


Fig. 68 Variable de Calcio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En a fig. 68 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que el experimento Mg obtuvo 12 % de concentración de calcio con respecto a los demás tratamientos.

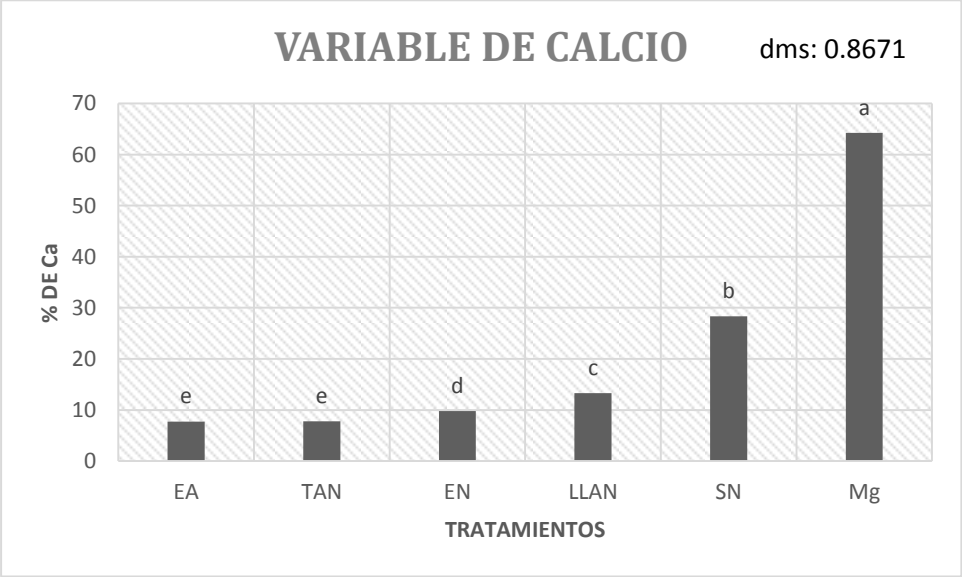


Fig. 69 Variable de Calcio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En a fig. 69 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que el experimento Mg obtuvo 12 % de concentración de calcio con respecto a los demás tratamientos.

8.1.2.- Variable de Magnesio año 2012 y 2014

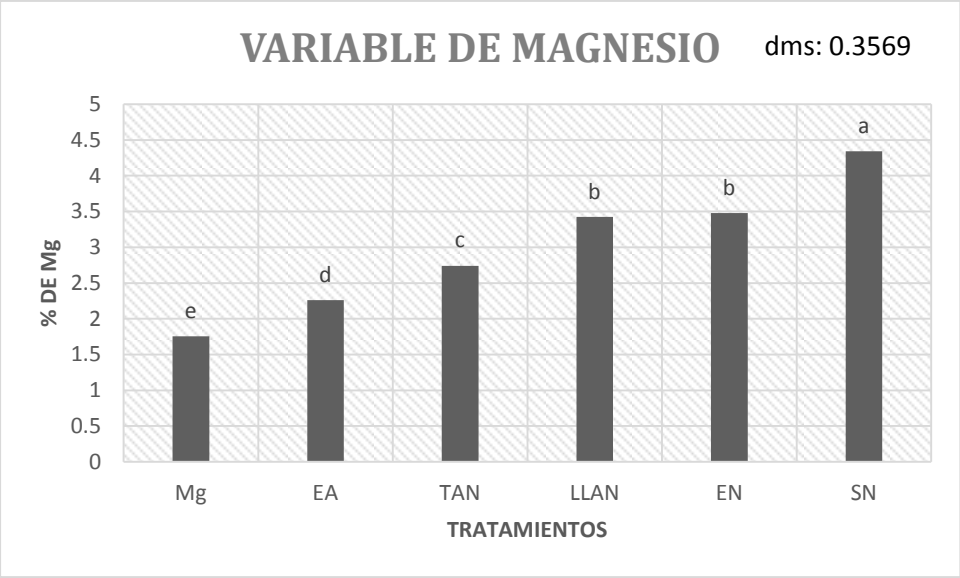


Fig. 70 Variable de Magnesio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 70 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que el experimento Sn obtuvo 40.4 % de concentración de Magnesio con respecto a los demás tratamientos.

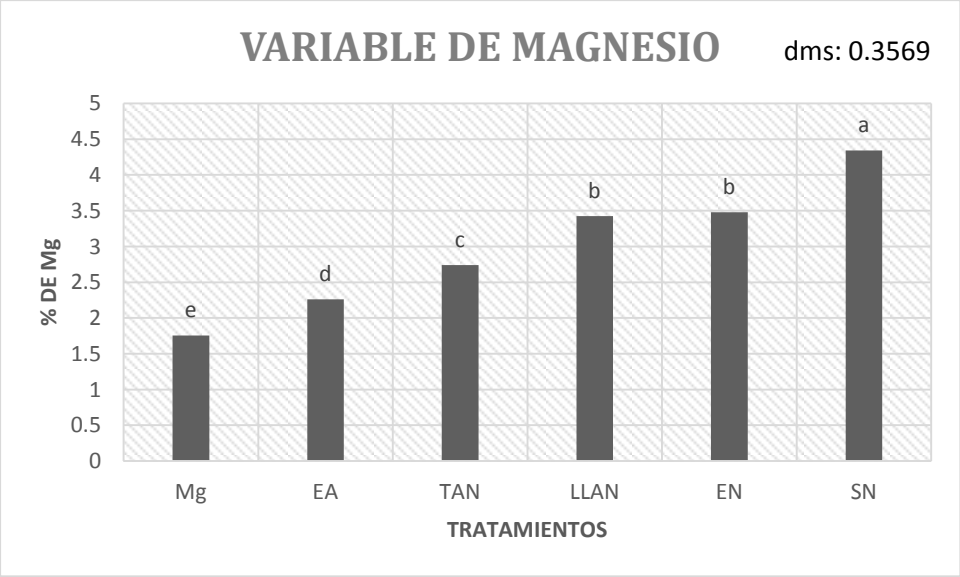


Fig. 71 Variable de magnesio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 71 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que el experimento Sn obtuvo 40.4 % de concentración de Magnesio con respecto a los demás tratamientos.

8.1.3.- Variable de Potasio año 2012 y 2014

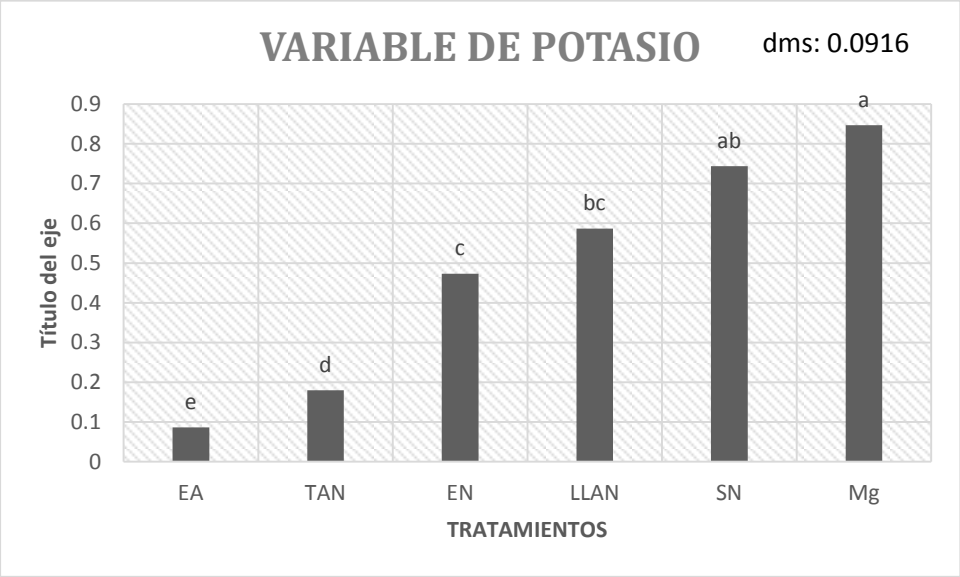


Fig. 72 Variable de Potasio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 72 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que el experimento Mg obtuvo 10.2 % de concentración de potasion con respecto a los demás tratamientos.

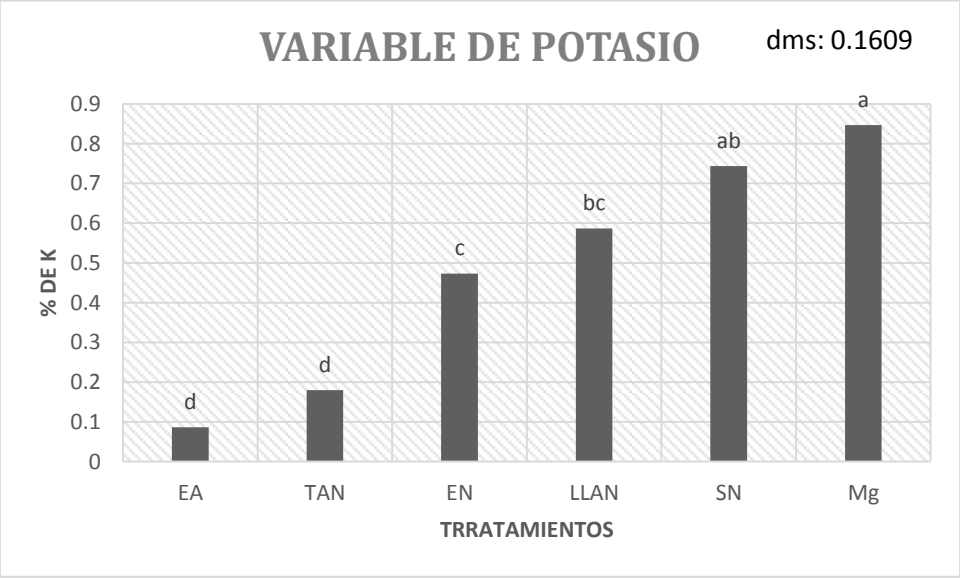


Fig. 73 Variable de Potasio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 73 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que el experimento Mg obtuvo 10.2 % de concentración de potasion con respecto a los demás tratamientos.

8.1.4.- Variable de Sodio año 2012 y 2014

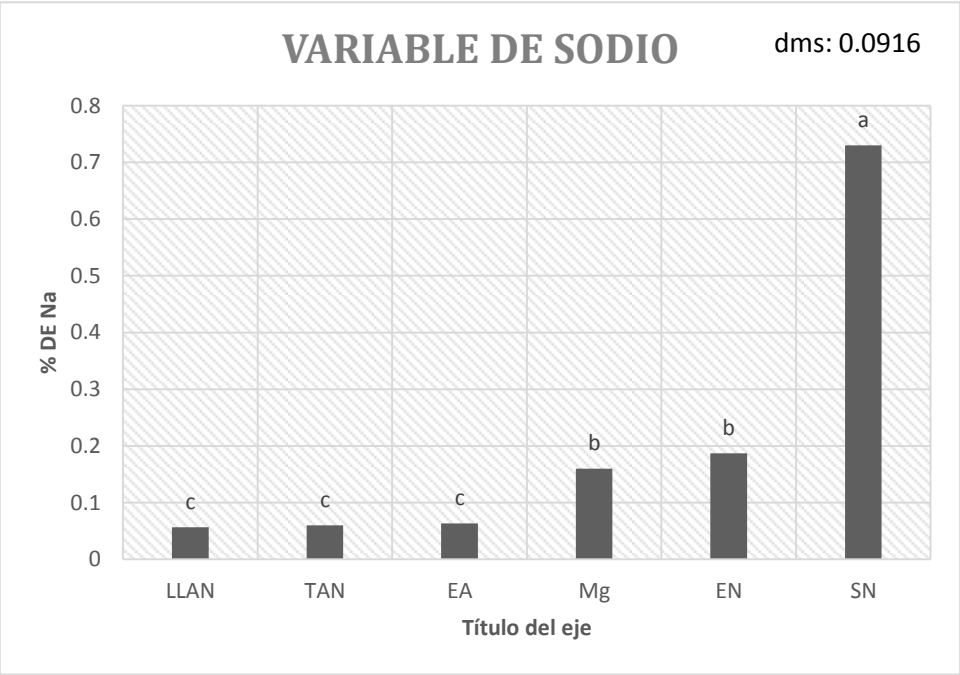


Fig. 74 Variable de Sodio en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 74 se observó diferencias significativas en los tratamientos, destacando que el experimento SN obtuvo 7.7 % de concentración de Sodio con respecto a los demás tratamientos.

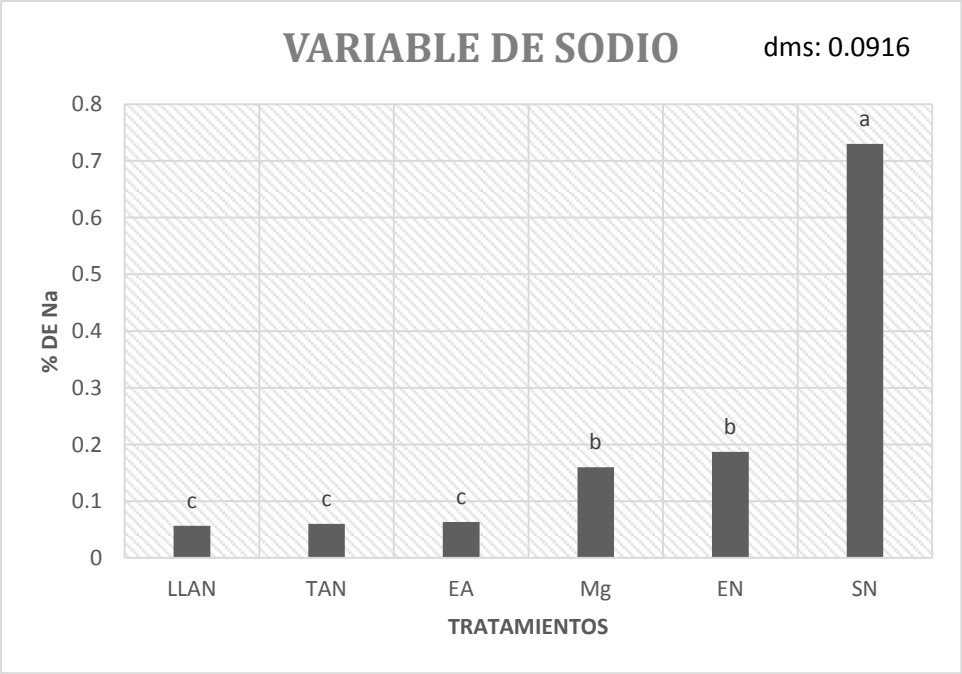


Fig. 75 Variable de Sodio en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 75 se observó diferencias significativas en los tratamientos, destacando que el experimento SN obtuvo 7.7 % de concentración de Sodio con respecto a los demás tratamientos.

8.1.5.- Variable de Capacidad De Intercambio Catiónico año 2012 y 2014

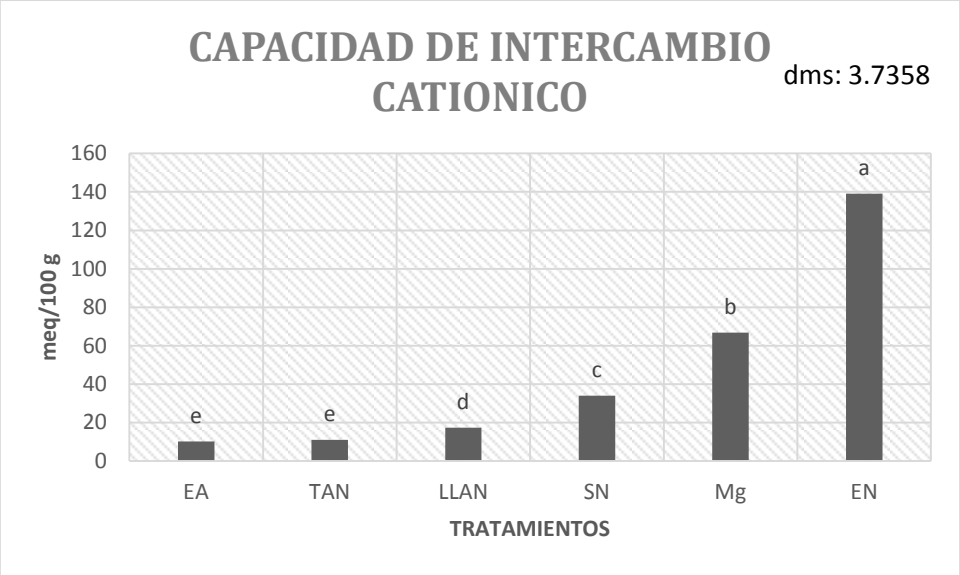


Fig. 76 Variable de Capacidad de intercambio Catiónico del año 2012 en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 76 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimento EN obtuvo 7.2 % de capacidad con respecto a los demás tratamientos.

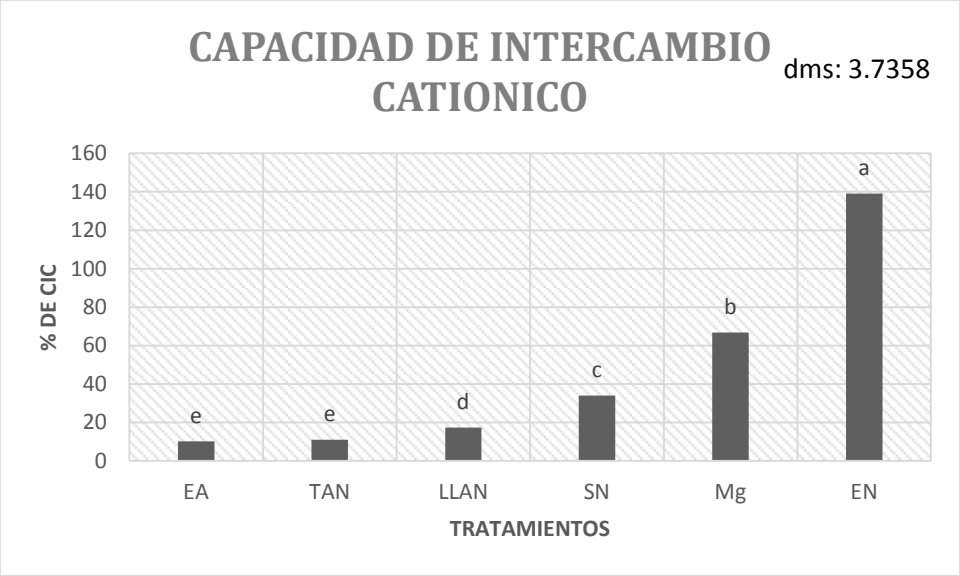


Fig. 77 Variable de Capacidad de intercambio Catiónico del año 2014 en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 77 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimento EN obtuvo 7.2 % de capacidad con respecto a los demás tratamientos.

Todos los cationes adsorbidos en el complejo arcilloso húmico, o complejo de cambio, pueden ser intercambiados por otros contenidos en la solución del suelo, de forma que entre ambos medios existe un permanente equilibrio de cationes.

La Capacidad de Intercambio Catiónico o CIC es la cantidad de cationes que pueden ser retenidos por los suelos, expresada en miliequivalentes (meq)/100 g de suelo, aunque en la actualidad se utiliza la unidad cmolc/kg. A medida que la CIC es más elevada la fertilidad del suelo aumenta.

8.1.6.- Variable de pH año 2012 y 2014

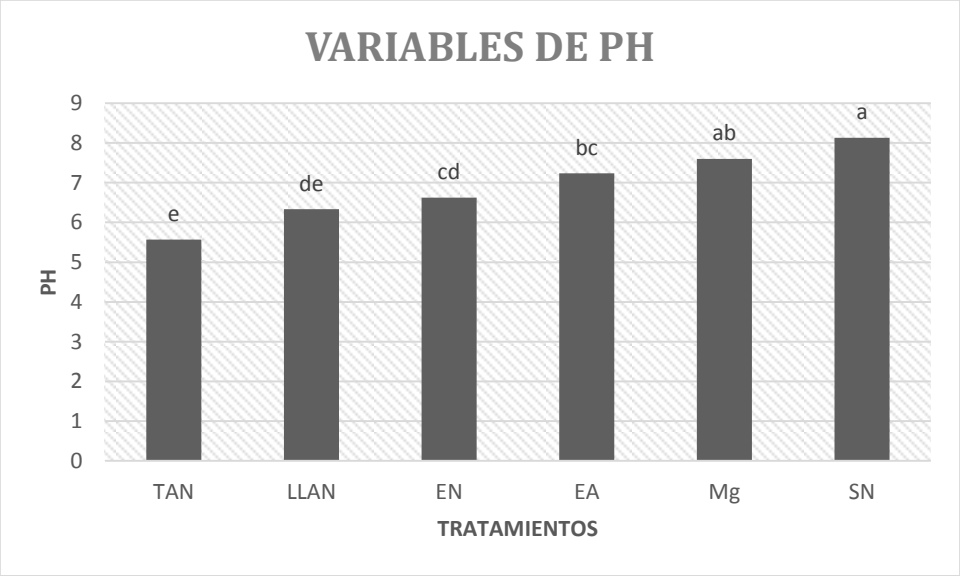


Fig. 78 Variable de pH del año 2012 en los suelos fértiles del año 2012. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 78 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimentos SN obtuvo 10 % de potencial de hidrogeno con respecto a los demás tratamientos.

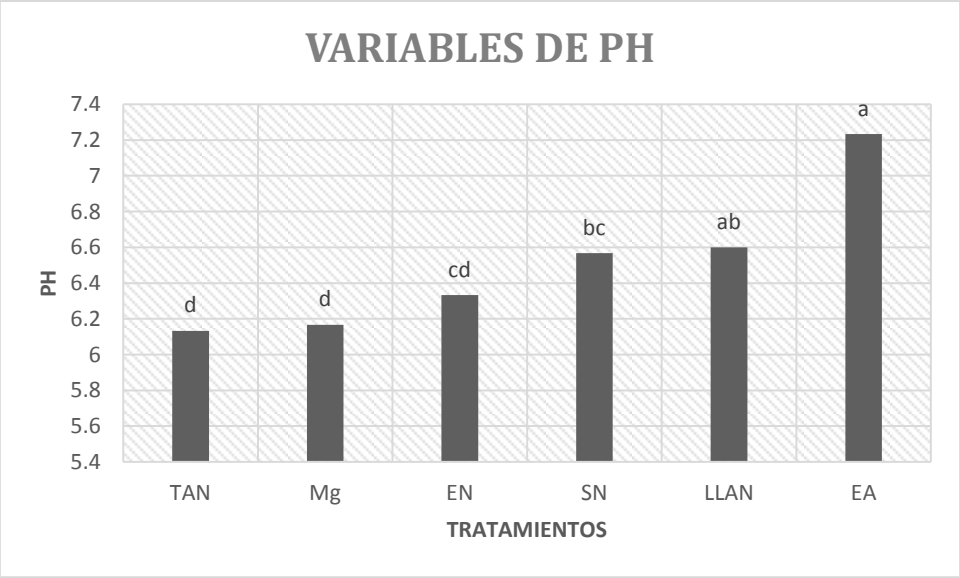


Fig. 79 Variable de pH en los suelos fértiles del año 2014. Los valores con la misma letra no difieren entre sí, de acuerdo con la prueba de Tuckey al 95 % ($p < 0.05$.)

En la fig. 79 se observó diferencia significativa en los tratamientos, destacando que en el experimentos SN obtuvo 7 % de potencial de hidrogeno con respecto a los demás tratamientos.

Los suelos tienen tendencia a acidificarse. Primero se descalcifican, ya que el calcio es absorbido por los cultivos o desplazado del complejo de cambio por otros cationes y emigra a capas más profundas con el agua de lluvia o riego. Después, lo normal, es que los iones H+ ocupen los huecos que dejan el Ca 2+ y el Mg 2+ en el complejo. Los abonos nitrogenados, en su mayoría, ejercen una acción acidificante sobre el suelo. También acidifican el suelo los ácidos orgánicos excretados por las raíces de las plantas (EPA, 2004).

Un suelo con fuerte acidez es pobre en bases (calcio, magnesio, potasio), la actividad de los microorganismos se reduce y el fósforo disponible disminuye, al precipitarse con el hierro y el aluminio. Los micronutrientes, excepto el molibdeno, se absorben mejor en este tipo de suelos. Un suelo con fuerte basicidad presenta un alto contenido de bases de cambio, pero la presencia de un elevado contenido de carbonato de calcio bloquea la posible absorción de fósforo y de la mayor parte de los micronutrientes (EPA, 2004).

7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Bajo la agricultura de conservación se establece una nueva dinámica del suelo, dando lugar a fuertes interacciones entre la fauna, las raíces de las plantas, el agua, el aire, la temperatura y el reciclaje de los nutrientes. Cuando la agricultura de conservación se practica durante varios años, el contenido de materia orgánica del suelo aumenta. La reacción del suelo es diferente y recupera su capacidad natural de amortiguación incrementa el pH.

Howells 1992 menciona que es mucho lo que se ha escrito y hablado sobre la acidez y la alcalinidad de los suelos. La expresión "pH del suelo" es muy común. Este término es tan popular que es muy frecuente su uso entre agricultores, proveedores de fertilizantes, técnicos e investigadores. La importancia del pH del suelo ha sido tema de numerosas discusiones, pretendiéndose en todo momento que la acidez y la alcalinidad, expresadas como valores de pH, carecen de importancia, siempre y cuando el nivel de los elementos nutritivos y la estructura del suelo sean adecuados para el crecimiento del cultivo. En realidad, las pruebas químicas de laboratorio y de campo han demostrado, muchas veces, que la reacción del suelo o pH del suelo afecta de modo significativo la disponibilidad y la asimilación de nutrientes y ejerce una fuerte influencia sobre la estructura del propio suelo. Además, la acidez o la alcalinidad influyen directamente en la proliferación de muchos microorganismos del suelo. La actividad de estos microorganismos determina, muchas veces, la disponibilidad de nutrientes para las plantas por ejemplo: cuando el suelo es ácido (pH entre 4.5 y 5.5) la descomposición de la materia orgánica hacia la producción de amoniaco (amonificación) se acelera debido a la acción de bacterias amonificantes. Por otro lado, el proceso de nitrificación (la conversión de nitrógeno amoniacal a nitrógeno nítrico) es óptimo a pH entre 6.5 y 7.6. Así vemos que muchas veces no importa la fuente de fertilizante nitrogenado que se use sino el nivel de acidez o alcalinidad

Se observó que a mayor concentración de rastrojo obtuvimos mayores resultados en cuanto a las variables de crecimiento, obteniendo así mismo variaciones en el cultivo de maíz-maíz en los tres años consecutivos, esta nueva alternativa de adición de rastrojo proporciona los nutrientes necesarios a la planta, por medio de agentes naturales, resulta muy beneficioso para cualquier tipo de cultivo en el cual se requiera esta utilización de biotecnología.

Moldenhauer 1994 mencionan que la descomposición de los residuos de cultivo aumenta el contenido de MO, aportan nutrimentos al suelo y fomentan el incremento de C orgánico cerca de la superficie por lo tanto el crecimiento de las plantas. Los resultados entre los diferentes tratamientos en las variables de crecimiento como; v. longitud de planta, v. altura de mazorca, v. número de hojas, v. número de mazorcas, v. de % de daño, nos da mejores beneficios en la agricultura de conservación con rastrojo, y no hay mucha variación significativa en la agricultura convencional Sin rastrojo. Podemos observar que entre el año 1 y año 2 hay diferencias en los resultados de las variables, **López y Bello, 1997** mencionan que la fertilidad del suelo es de fundamental importancia para los objetivos de la producción y conservación. En las variables de crecimiento como; la longitud de planta

La verificación del % daño entre los cultivos y los aportes de los rotacultivos nos muestra el beneficio que resalta para la obtención de mejores cultivos en las temporadas, con la implantación de nuevos métodos de conservación, en el primer año de la determinación de variables del % de daño obtenemos que no se encuentran diferencias significativas en los tratamientos, en los cultivos de agricultura convencional habitaban menores daños y en la a. conservación un numero despreciable mayor, posteriormente al segundo año, se obtuvo mejores beneficios, es decir menores daños entre los tratamientos de conservación con rastrojo y sin rastrojo. El daño presente en el follaje de las hojas es debido a la presencia de insectos.

El gusano cogollero causa el ataque a plantas mayores retrasando el desarrollo y por consecuencia los rendimientos disminuyen.

Lacasta et al. 2004 mencionan que el laboreo mejora la aireación y por tanto la penetración de las raíces, aumenta así el volumen de suelo colonizado y concretamente la cantidad de agua a disposición del cultivo. El no laboreo del suelo, aumenta la agregación y por tanto su capacidad de acumular agua, se mantiene más húmedo y facilita la penetrabilidad. De tal manera que estas características puedan permitir el crecimiento del maíz, con la técnica de agricultura de conservación.

Goddard et al, 2004 mencionan para la variable de numero de hileras puede disminuir a la mitad desde la parte de abajo hacia la punta del producto final, es decir de 16 hileras totales hasta 7-8 hileras por mazorca. La longitud de la mazorca es usualmente normal, para la variable de longitud de mazorca.

El objetivo de la agricultura de Conservación (AC) es lograr una agricultura sostenible y rentable y en consecuencia dirigida al mejoramiento del sustento de los agricultores mediante la aplicación de los tres principios de la AC: una perturbación mínima del suelo; cobertura permanente del suelo; y la rotación de cultivos. La AC ofrece un potencial enorme para toda clase de tamaño de fincas y sistemas agro-ecológicos. Sin embargo, su adopción es más necesaria para los pequeños productores. Sobre todo aquellos que sufren una escasez aguda de mano de obra. La AC combina una producción agrícola rentable con una protección del ambiente, y la sostenibilidad; y se ha mostrado capaz de funcionar en un amplio rango de zonas agro-ecológicas y sistemas de producción. Ha sido percibida por profesionales como una herramienta válida para el manejo sostenible de la tierra.

Es posible que la causa de algunas deficiencias de desarrollo de las variables optimas de crecimiento evaluadas en este experimento, es debido a diversos factores como, el tipo de suelo, la humedad, y los factores que pueden afectar las pérdidas de desvitrificación son: la energía, la temperatura, la anaerobiosis y la reacción del suelo, es necesario que para que podamos lograr el objetivo importante y dar a conocer la tecnología de agricultura de conservación, son años de estudio, podemos decir que obtuvimos en los primeros dos años consecutivos resultados favorables que poco a poco brindaran una mejora, solo es simplemente aceptar las nuevas alternativas en el sector primario.

8. CONCLUSIONES

Observamos que la adición de rastrojo trae consigo el beneficio de reducir la erosión del suelo, conserva la humedad y controla las malezas en el cultivo. De los rastrojos adicionados en cultivo de maíz, tuvo variaciones en los resultados, que presentaron un incremento en las primeras variables de crecimiento, con respecto a los cultivos de maíz, se obtuvo un incremento en mayores porcentajes, esto puede deberse a la carencia de nutrientes en el suelo. En el primer año de estudio del 2012, presentó mayores incrementos en las variables en comparación al año 2014, para ello es necesario tomar en cuenta que la aplicación de fertilizantes sintéticos tiene una participación que afecta al desempeño de la nutrición que brinda el rastrojo.

Proporcionar los nutrientes necesario a la planta, por medio de agentes naturales, resulta benéfico. El uso de los policultivos en las plataformas de laboreo son benéficos en sí, excepto por los agentes que afecten el crecimiento y desarrollo. En las primeras gráficas de materia orgánica se observó, que el aporte de rastrojo al suelo tuvo un efecto en aportar nutrientes

Observamos que a mayor concentración de rastrojo, hay mayor presencia de producción de biomasa, por lo tanto en el rendimiento total de las cosechas de maíz-maíz de agricultura de conservación con adición de rastrojo obtuvo una diferencia significativa respecto a los tratamientos sin la adición de rastrojo por método de labranza convencional. el tener un análisis de suelos es indispensable para recomendar el tratamiento de fertilidad del cultivo, que son necesarios para mejorar las propiedades físicas y químicas, tomando en cuenta que reducimos la erosión del suelo al mejoramiento de pH y también a una mejor interacción entre los cationes intercambiables para el beneficio del cultivo.

Bibliografía

Alvarez R. et al. 2006, Materia organica, valor agronómico en suelos pampeanos, Universidad de Buenos Arires, Buenos Aires 206 p.

Bernier, R.L. 1979. Muestreo de suelos para análisis químico. Boletín Técnico N° 28 17 Re. Estación Experimental Remehue. INIA. 12 p.

Crovetto, C. 1997. La cero labranza y la nutrición del suelo. In: Agricultura Sustentable de Alta Producción, 5º Congreso Nacional de AAPRESID, Mar del Plata, Argentina: p73-78.

Esquinas J.T. 2000. Recursos geneticos vegetales: base de la seguridad alimentaria. Revista Ceres 20:39-45.

Cruz, CH.F.J.; Espinosa, P.H.; Saucedo M. H. 2000. Tecnología para la producción y manejo postcosecha de semilla de especies forrajeras, INIFAP. Campo Experimental Centro Chiapas. Ocozocoautla, Chiapas, México. Folleto Técnico Núm. 11 pp.31.

Hobbs, Peter R. 2007. Conservation agriculture: What is it and why is it important for future sustainable food production? Journal of Agricultural Science. Vol. 1 Núm. 2, 2007.

Casanova, A. y J. R. Savón, 1995. Producción biointensiva de hortalizas. Revista Agricultura Orgánica. 1 (3): 13-16.

Moreno J. A. Globalización y "libre comercio",Enero de 2010.

Bunch, R. 2003. Nutrient quantity or nutrient access? A new understanding of how to maintain, soil fertility in the tropics.

Valbuena, D., O. Erenstein, S. Homann-Kee Tui, Abdoulaye, T., Claessens, L., Duncan, A. J., Gérard, B., Rufino, M. C., Teufel, N., A. van Rooyen, and M. T. van Wijk. 2012. Conservation Agriculture in mixed crop–livestock systems: Scoping crop residue trade-offs in Sub-Saharan Africa and South Asia. Field Crops Research. Vol.132.

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 2000. Las buenas prácticas agrícolas y ganaderas.

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 2001. Las buenas prácticas agrícolas.

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 2002. Boletín de impacto de agricultura sustentable.

Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación, FAO. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 2004. Las buenas prácticas agrícolas.

Brammer, H. 2000. Ploughpans and tillage problems: Agroecological aspects of agricultural research in Bangladesh. p.151-158. Dhaka: UPL.

Derpsch R., Friedrich T., Kassam A. and Hongwen Li. 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. Vol. 3, Núm. 1.

Kochhann, R.A. 1996. Alteraçãos das Características Físicas, Químicas e Biológicas do Solo sob Sistema Plantio Direto. In: I Conferência Annual de Plantio Direto. Resumos de Palestras da I Conferência Annual de Plantio Direto. Passo Fundo – RS, Brasil.

Thurston, H. D 1997. Slash/Mulch Systems: Sustainable Methods for Tropical Agriculture, Boulder, Colorado, Estados Unidos de América. Westview Press.

Castro Filho, C., O. Muzilli y A.L. Podanoschi. 1998. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossoloroxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22: 527-538.

Wall, P. C., 2007. Tailoring conservation agriculture to the needs of small farmers in developing countries: An analysis of issues. Journal of Crop Improvement. Vol. 19, Núm. 1-2, 137–155.

NORMAN, R.; WILSON, C.; SLATON, N. 2003. Soil fertilization and mineral nutrition in U.S. mechanized rice culture. *In*: Smitn C.W.; Dilday R.H. (eds). Rice, Origin, History, Technology and Production. p. 331-413.

Govaerts, Bram, Ken D. Sayre, Bart Goudeseune, Pieter De Corte, Kelly Lichter, Luc Dendooven, and Jozef Deckers. 2009. Conservation agriculture as a sustainable option for the central Mexican highlands. Soil and Tillage Research. Vol. 103, Núm. 2, May 2008.

Hayatsu M., Tago K., Saito M. 2008. Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. Soil Science and Plant Nutrition.54: 33-45.

Manual de nutrientes basicos

Boletín de suelo la FAO 2006

Boletín de germoplasta, CATIE, 2014

Sagarpa 2006

Turrión, M. B., O. López, F. Lafuente, R. Mulas, C. Ruipérez, and A. Puyo. 2007. Soil phosphorus forms as quality indicators of soils under different vegetation covers. Sci. Total Environ. 36: 207-399.

Núñez E. R. 2002. Apuntes del curso de tecnología y uso de fertilizantes. COLPOS.

Fageria, V.D. 2001. Nutrient interactions in crop plants. Journal of Plant Nutrition, 24(8):1269-1290.

Yang, J.L. You, Y.Y. Li, P. Wu, and S.J. Zheng. 2007. Magnesium enhances aluminium-induced citrate secretion in rice bean root (Vigna umbellata) by restoring plasma menbrane H^+ -ATPase activity. Plant and cell physiol. Pp. 48 66-74.

LAEGDSMAND, M., de JONGE, L. W. and MOLDRUP, P. (2005): Leaching of colloids and dissolved organic matter from columns packed with natural soil aggregates. Soil Science. 170(1):13-27.

MEDINA, A., VASSILEV, N.,ALGUACIL, M. M., ROLDÁN, A. and AZCÓN, R. (2004): Increased plant growth, nutrient uptake, and soil enzymatic activities in a desertified mediterranean soil amended with treated residues and inoculated with native mycorrhizal fungi and a plant growth-promoting yeast. Soil Science.169 (4): 260 – 270.

Boletín agronomía para todos , 2015